

ĐẶNG VĂN ĐÀO  
LÊ VĂN DOANH

EBOOKBKMT.COM

Tài liệu kỹ thuật miễn phí

# KỸ THUẬT ĐIỆN

- LÝ THUYẾT  
- BÀI TẬP CÓ ĐÁP SỐ  
- BÀI TẬP GIẢI SẴN



Thu Viện DHKTCN-TN



MGT07027927



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

9



7

**ĐẶNG VĂN ĐÀO, LÊ VĂN DOANH**

**EBOOKBKMT.COM**  
**Tài liệu kỹ thuật miễn phí**

# **KỸ THUẬT ĐIỆN**

**LÝ THUYẾT, BÀI TẬP GIẢI SẴN  
VÀ BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ**

*(In lại lần thứ 8 có sửa chữa và bổ sung)  
(Giáo trình cho các trường Đại học)*



**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**  
**HÀ NỘI - 2002**



Mã số:  $\frac{7-7C2.01}{KHKT - 2001}$  1296 -45 -2001



## MỤC LỤC

	<i>Trang</i>
Lời nói đầu	9
<b>PHẦN I. MẠCH ĐIỆN</b>	
<i>Chương 1. Những khái niệm cơ bản về mạch điện</i>	<b>9</b>
1.1. Mạch điện, kết cấu hình học của mạch điện	9
1.2. Các đại lượng đặc trưng cho quá trình năng lượng trong mạch điện	10
1.3. Mô hình mạch điện, các thông số	11
1.4. Phân loại và các chế độ làm việc của mạch điện	15
1.5. Hai định luật Kiếchốp	16
Bảng tóm tắt chương 1	18
Câu hỏi ôn tập chương 1	18
Bài tập chương 1	18
<i>Chương 2. Dòng điện sin</i>	<b>22</b>
2.1. Các đại lượng đặc trưng cho dòng điện sin	22
2.2. Trị số hiệu dụng của dòng điện sin	23
2.3. Biểu diễn dòng điện sin bằng vectơ	24
2.4. Dòng điện sin trong nhánh thuần điện trở	25
2.5. Dòng điện sin trong nhánh thuần điện cảm	26
2.6. Dòng điện sin trong nhánh thuần điện dung	27
2.7. Dòng điện sin trong nhánh R- L- C nối tiếp	29
2.8. Công suất của dòng điện sin	30
2.9. Nâng cao hệ số công suất $\cos\varphi$	32
2.10. Biểu diễn dòng điện sin bằng số phức	33
Bảng tóm tắt chương 2	36
Câu hỏi ôn tập chương 2	37
Bài tập chương 2	37
<i>Chương 3. Các phương pháp phân tích mạch điện</i>	<b>44</b>
3.1. Ứng dụng biểu diễn vectơ giải mạch điện	44
3.2. Ứng dụng biểu diễn số phức giải mạch điện	46
3.3. Phương pháp biến đổi tương đương	47
3.4. Phương pháp dòng điện nhánh	50
3.5. Phương pháp dòng điện vòng	51
3.6. Phương pháp điện áp hai nút	53
3.7. Phương pháp xếp chồng	54
3.8. Phương pháp tính mạch có nguồn chu kỳ không sin	56

	<i>Trang</i>
Bảng tóm tắt chương 3	58
Câu hỏi ôn tập chương 3	58
Bài tập chương 3	58
<b>Chương 4. Mạch ba pha</b>	<b>69</b>
4.1. Khái niệm chung	69
4.2. Cách nối hình sao	71
4.3. Cách nối hình tam giác	72
4.4. Công suất mạch điện ba pha	73
4.5. Đo công suất mạch ba pha	74
4.6. Cách giải mạch điện ba pha đối xứng	76
4.7. Cách giải mạch ba pha không đối xứng	79
4.8. Cách nối nguồn và tải trong mạch ba pha	83
Bảng tóm tắt chương 4	84
Câu hỏi ôn tập chương 4	84
Bài tập chương 4	85
<b>Chương 5. Quá trình quá độ trong mạch điện</b>	<b>96</b>
5.1. Khái niệm chung về quá trình quá độ	96
5.2. Phương trình vi phân của quá trình quá độ	96
5.3. Quá trình quá độ trong mạch R-C	98
5.4. Quá trình quá độ trong mạch R-L	100
5.5. Tính toán quá trình quá độ bằng phương pháp toán tử	101
Bảng tóm tắt chương 5	104
Câu hỏi ôn tập chương 5	105
Bài tập chương 5	105
<b>Chương 6. Mạch điện phi tuyến</b>	<b>112</b>
6.1. Những khái niệm chung về mạch điện phi tuyến	112
6.2. Các phương pháp tính mạch phi tuyến	114
Câu hỏi ôn tập chương 6	117
Bài tập chương 6	117
<b>PHẦN II. MÁY ĐIỆN</b>	
<b>Chương 7. Khái niệm chung về máy điện</b>	<b>120</b>
→ 7.1. Định nghĩa và phân loại	120
7.2. Các định luật điện từ cơ bản dùng trong máy điện	122
7.3. Nguyên lý máy phát điện và động cơ điện. Tính thuận nghịch của máy điện	123
7.4. Định luật mạch từ. Tính toán mạch từ	124
7.5. Các vật liệu chế tạo máy điện	126
7.6. Phát nóng và làm mát máy điện	128
7.7. Phương pháp nghiên cứu máy điện	128
Bảng tóm tắt chương 7	128
Câu hỏi ôn tập chương 7	128
Bài tập chương 7	130

<b>Chương 8. Máy biến áp</b>	<b>132</b>
8.1. Khái niệm chung	132
8.2. Cấu tạo của máy biến áp	133
8.3. Nguyên lý làm việc của máy biến áp	135
8.4. Mô hình toán của máy biến áp	136
8.5. Sơ đồ thay thế máy biến áp	139
8.6. Chế độ không tải của máy biến áp	141
8.7. Chế độ ngắn mạch của máy biến áp	144
8.8. Chế độ có tải của máy biến áp	146
8.9. Máy biến áp ba pha	150
8.10. Sự làm việc song song của các máy biến áp	152
8.11. Các máy biến áp đặc biệt	154
Bảng tóm tắt chương 8	156
Câu hỏi ôn tập chương 8	157
Bài tập chương 8	157
<b>Chương 9. Máy điện không đồng bộ</b>	<b>170</b>
9.1. Khái niệm chung	170
9.2. Cấu tạo của máy điện không đồng bộ ba pha	171
9.3. Từ trường của máy điện không đồng bộ	173
9.4. Nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ	173
9.5. Mô hình toán của động cơ điện không đồng bộ	179
9.6. Sơ đồ thay thế động cơ không đồng bộ	182
9.7. Biểu đồ năng lượng và hiệu suất của động cơ không đồng bộ	184
9.8. Mômen quay của động cơ không đồng bộ ba pha	185
9.9. Mô máy động cơ không đồng bộ ba pha	187
9.10. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện không đồng bộ	191
9.11. Các đặc tính làm việc của động cơ điện không đồng bộ	193
9.12. Động cơ không đồng bộ hai pha	194
9.13. Động cơ không đồng bộ một pha	195
Bảng tóm tắt chương 9	180
Câu hỏi ôn tập chương 9	199
Bài tập chương 9	200
<b>Chương 10. Máy điện đồng bộ</b>	<b>210</b>
→ 10.1. Định nghĩa và công dụng	210
→ 10.2. Cấu tạo máy điện đồng bộ	210
→ 10.3. Nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ	212
10.4. Phản ứng phần ứng của máy phát điện đồng bộ	212
10.5. Mô hình toán của máy phát điện đồng bộ	213
10.6. Công suất điện từ của máy phát điện đồng bộ cực lồi	214
10.7. Đặc tính ngoài và đặc tính điều chỉnh	217
10.8. Sự làm việc song song của các máy phát điện đồng bộ	218
10.9. Động cơ điện đồng bộ	218

	<i>Trang</i>
10.10. Các máy điện đồng bộ có cấu tạo đặc biệt	220
Bảng tóm tắt chương 10	221
Câu hỏi ôn tập chương 10	221
Bài tập chương 10	222
<b>Chương 11. Máy điện một chiều</b>	<b>227</b>
11.1. Cấu tạo máy phát điện một chiều	227
11.2. Nguyên lý làm việc của máy phát và động cơ điện một chiều	229
11.3. Từ trường và sức điện động của máy điện một chiều	231
11.4. Công suất điện từ mômen điện từ của máy điện một chiều	233
11.5. Tia lửa trên vành góp và biện pháp khắc phục	234
11.6. Máy phát điện một chiều	234
11.7. Động cơ điện một chiều	238
Bảng tóm tắt chương 11	243
Câu hỏi ôn tập chương 11	243
Bài tập chương 11	244
Bảng tóm tắt so sánh các loại động cơ điện thông dụng	251
 <b>PHẦN III. ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT VÀ ĐIỀU KHIỂN MÁY ĐIỆN</b>	
<b>Chương 12. Điện tử công suất</b>	<b>253</b>
12.1. Những khái niệm chung về điện tử công suất	253
12.2. Các linh kiện bán dẫn công suất	254
12.3. Các sơ đồ chỉnh lưu	258
12.4. Biến đổi điện áp xoay chiều	263
12.5. Bộ băm điện áp một chiều	264
12.6. Bộ nghịch lưu	266
12.7. Bộ biến tần	267
Bảng tóm tắt chương 12	268
Câu hỏi ôn tập	270
Bài tập chương 12	270
<b>Chương 13. Điều khiển máy điện</b>	<b>277</b>
13.1. Khái niệm cơ bản về truyền động điện	277
13.2. Khái niệm chung về đặc tính cơ của động cơ điện	278
13.3. Mômen tác động trong truyền động điện	279
13.4. Điều khiển động cơ điện một chiều	280
13.5. Điều khiển động cơ điện không đồng bộ	283
13.6. Điều khiển động cơ đồng bộ	286
13.7. Điều khiển điện áp máy phát điện đồng bộ	287
Câu hỏi ôn tập chương 13	288
Bài tập chương 13	288

## LỜI NÓI ĐẦU

Kỹ thuật điện là ngành kỹ thuật ứng dụng các hiện tượng điện từ để biến đổi năng lượng, đo lường, điều khiển, xử lý tín hiệu v.v... bao gồm việc tạo ra, biến đổi và sử dụng điện năng, tín hiệu điện từ trong các hoạt động thực tế của con người.

So với các hiện tượng vật lý khác như cơ, nhiệt, quang ... hiện tượng điện từ được phát hiện chậm hơn vì các giác quan của con người không cảm nhận trực tiếp được hiện tượng này. Tuy nhiên việc khám phá ra hiện tượng điện từ đã thúc đẩy mạnh mẽ cuộc cách mạng khoa học và kỹ thuật chuyển sang lĩnh vực điện khí hóa, tự động hóa.

Điện năng có ưu điểm nổi bật là có thể sản xuất tập trung với nguồn công suất lớn, có thể truyền tải đi xa và phân phối đến nơi tiêu thụ với tổn hao tương đối nhỏ. Điện năng dễ dàng biến đổi thành các dạng năng lượng khác. Mặt khác quá trình biến đổi năng lượng và tín hiệu điện từ dễ dàng tự động hóa và điều khiển từ xa, cho phép giải phóng lao động chân tay và cả lao động trí óc của con người.

Ta có thể kể ra một số mốc quan trọng đánh dấu quá trình nhận thức và phát minh ra hiện tượng điện từ.

Năm 1785 Ch.Coulomb nghiên cứu các định luật về tĩnh điện. Năm 1800 A. Volta dựa trên cơ sở phát minh của L.Galvani đã chế tạo ra chiếc pin đầu tiên. Năm 1819 C.H.Oersted nghiên cứu tác dụng cơ học của dòng điện. Năm 1820 A.M.Ampère nghiên cứu lực điện động. Năm 1826 G.S.Ohm tìm ra quan hệ giữa dòng điện và điện áp trong mạch không phân nhánh. Mốc quan trọng nhất phải kể đến là năm 1831 M.Faraday phát minh ra định luật cảm ứng điện từ, năm 1833 H.Lentz tìm ra chiều của dòng điện cảm ứng. Định luật cảm ứng điện từ là cơ sở lý luận cho sự xuất hiện của các loại máy điện và các thiết bị điện. Năm 1847 G.R.Kirchhoff phát biểu định luật về dòng điện và điện áp trong mạch phân nhánh. Năm 1870 chế tạo máy điện một chiều đầu tiên có kết cấu gần giống như hiện nay. Năm 1873 J.C.Maxwell đưa ra lý thuyết tổng quan về trường điện từ nhờ đó năm 1888 H.Hertz thu được sóng điện từ đầu tiên. Năm 1889 đã chế tạo ra động cơ không đồng bộ ba pha. Năm 1896 A.S.Popov chế tạo máy thu vô tuyến đầu tiên, ngành kỹ thuật điện tử ra đời. Từ những năm 50 của thế kỷ này với sự hoàn thiện của kỹ thuật bán dẫn và vi điện tử ngành kỹ thuật điện tử và tin học có bước phát triển nhảy vọt và góp phần thúc đẩy quá trình nghiên cứu biến đổi năng lượng điện từ. Gần đây ngành điện tử công suất một lĩnh vực hội tụ của kỹ thuật điện và điện tử đã phát triển mạnh mẽ, ở đó kỹ thuật điện và điện tử hoà nhập.

Để đánh giá trình độ phát triển của nền sản xuất người ta thường dùng chỉ tiêu điện năng tiêu thụ cho một người trong một năm. Ở các nước công nghiệp phát triển chỉ tiêu này vào khoảng trên 10.000 kWh/1 người.1 năm.

Ở Việt Nam do hậu quả chiến tranh kéo dài chúng ta được thừa hưởng cơ sở vật chất kỹ thuật trong ngành điện rất non yếu. Sau ngày miền Nam hoàn toàn giải phóng chúng ta đã xây dựng được các nhà máy điện lớn như thủy điện Hòa

Bình (1920 MW), thủy điện Trị An (440 MW), nhiệt điện Phả Lại (440 MW), đang xây dựng thủy điện Yali (720 MW), đồng thời đã xây dựng được đường dây siêu cao 500 kV Bắc Nam có thể truyền tải 500 MW. Nhờ đó sản lượng điện năng năm 1994 đạt 14 tỉ kWh, bình quân khoảng 200 kWh/1 người.1 năm. Con số này còn quá khiêm tốn so với các nước trong khu vực và trên thế giới. Kinh nghiệm trong những năm qua chứng tỏ nếu điện năng không đi trước một bước sẽ gây rối loạn và tổn thất to lớn cho nền kinh tế.

Giáo trình Kỹ thuật điện này được soạn theo kế hoạch đào tạo và chương trình môn học giai đoạn I của các trường Đại học khối kỹ thuật công nghiệp do Bộ Giáo dục và Đào tạo ban hành năm 1990.

Sách được soạn trên cơ sở người đọc đã học môn Kỹ thuật điện, môn Vật lý ở phổ thông trung học và phần điện môn Vật lý đại cương ở bậc đại học nên không đi sâu về mặt lý luận các hiện tượng vật lý mà chú ý nhiều đến tính toán, ứng dụng kỹ thuật phục vụ cho việc đào tạo giai đoạn II và các hoạt động khoa học kỹ thuật liên quan đến kỹ thuật điện.

Về mặt kết cấu cuốn sách này có nhiều thay đổi, đã đúc rút kinh nghiệm của các giáo trình trước và kinh nghiệm nhiều năm giảng dạy môn Kỹ thuật điện tại Trường đại học Bách khoa Hà Nội. Để giúp bạn đọc hệ thống hóa kiến thức cuối mỗi chương đều có mục tổng kết các vấn đề trọng tâm và đưa ra các câu hỏi ôn tập. Phần bài tập giải sẵn được đặt ngay cuối mỗi chương. Toàn bộ cuốn sách có 100 bài tập giải sẵn chọn lọc, 70 bài tập cho đáp số.

### **Nội dung Sách gồm ba phần chính.**

*Phần một : Mạch điện* gồm 6 chương cung cấp các kiến thức cơ bản về mạch điện (thông số, mô hình, các định luật cơ bản), các phương pháp tính toán mạch điện một pha và ba pha ở chế độ xác lập, đồng thời cũng giới thiệu các phương pháp nghiên cứu mạch điện ở chế độ quá độ và mạch phi tuyến.

*Phần hai : Máy điện* gồm 5 chương, trình bày nguyên lý, cấu tạo và các tính năng kỹ thuật và ứng dụng của các loại máy điện cơ bản thường gặp.

*Phần ba : Điện tử công suất và điều khiển máy điện* gồm 2 chương trình bày các linh kiện điện tử công suất và những ứng dụng chủ yếu của chúng trong các thiết bị chỉnh lưu, nghịch lưu, biến tần và điều khiển máy điện.

Cuốn sách do PGS, PTS Lê Văn Doanh viết phần một và chương 13 phần ba. PGS, PTS Đặng Văn Đào viết phần hai và chương 12 phần ba. PGS, PTS Đặng Văn Đào chủ biên. Các tác giả chân thành cảm ơn nhóm Kỹ thuật điện thuộc khoa Thiết bị điện Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã có nhiều đóng góp về nội dung và kinh nghiệm giảng dạy môn học Kỹ thuật điện, nhiều vấn đề đã được đề cập khi biên soạn cuốn sách này.

Các tác giả mong nhận được sự đóng góp, nhận xét của đông đảo bạn đọc. Các ý kiến nhận xét xin gửi về khoa Thiết bị điện trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn.

**Các tác giả**

## Phần I. MẠCH ĐIỆN

### Chương I

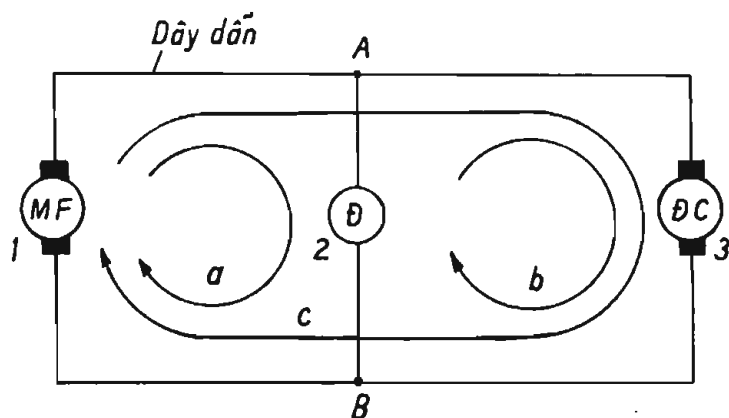
## NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ MẠCH ĐIỆN

### § 1.1. MẠCH ĐIỆN, KẾT CẤU HÌNH HỌC CỦA MẠCH ĐIỆN

#### 1.1.1. Mạch điện

Mạch điện là tập hợp các thiết bị điện nối với nhau bằng các dây dẫn tạo thành những vòng kín trong đó dòng điện có thể chạy qua. Mạch điện thường gồm các loại phần tử sau : nguồn điện, phụ tải (tải), dây dẫn. Hình 1.1 là một ví dụ về mạch điện, trong đó : nguồn điện là máy phát điện MF, tải gồm động cơ điện ĐC và bóng đèn Đ, các dây dẫn truyền tải điện năng từ nguồn đến tải.

a) *Nguồn điện.* Nguồn điện là thiết bị phát ra điện năng. Về nguyên lý, nguồn điện là thiết bị biến đổi các dạng năng lượng như cơ năng, hóa năng, nhiệt năng v.v... thành điện năng. Ví dụ : pin, ắc quy biến đổi hóa năng thành điện năng, máy phát điện biến đổi cơ năng thành điện năng, pin mặt trời biến đổi năng lượng bức xạ mặt trời thành điện năng v.v...



Hình 1.1.

b) *Tải.* Tải là các thiết bị tiêu thụ điện năng và biến đổi điện năng thành các dạng năng lượng khác như cơ năng, nhiệt năng, quang năng v.v... Ví dụ :

động cơ điện tiêu thụ điện năng và biến điện năng thành cơ năng, bàn là, bếp điện biến điện năng thành nhiệt năng, bóng điện biến điện năng thành quang năng v.v...

#### 1.1.2. Kết cấu hình học của mạch điện

a) *Nhánh.* Nhánh là bộ phận của mạch điện gồm các phần tử nối tiếp nhau trong đó có cùng dòng điện chạy qua. Trên hình 1.1. có 3 nhánh đánh số 1,2,3.

b) *Nút*. Nút là chỗ gặp nhau của từ ba nhánh trở lên. Trên mạch hình 1.1. có 2 nút ký hiệu là A, B.

c) *Vòng*. Vòng là lối đi khép kín qua các nhánh. Mạch điện trên hình 1.1 tạo nên 3 vòng ký hiệu a,b,c.

## § 1.2. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG QUÁ TRÌNH NĂNG LƯỢNG TRONG MẠCH ĐIỆN

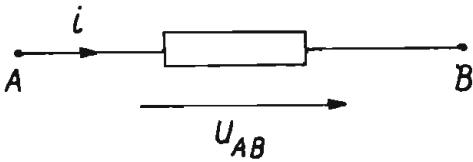
Để đặc trưng cho quá trình năng lượng trong một nhánh hoặc một phần tử của mạch điện ta dùng hai đại lượng : Dòng điện  $i$  và điện áp  $u$ . Công suất của nhánh hoặc của phần tử (hình 1.2) là :  $p = ui$ .

### 1.2.1. Dòng điện

Dòng điện  $i$  về trị số bằng tốc độ biến thiên của lượng điện tích  $q$  qua tiết diện ngang một vật dẫn.

$$i = \frac{dq}{dt} \tag{1.1}$$

Chiều dòng điện quy ước là chiều chuyển động của điện tích dương trong điện trường.



Hình 1.2.

### 1.2.2. Điện áp

Tại mỗi điểm trong mạch điện có một điện thế. Hiệu điện thế (hiệu thế) giữa hai điểm gọi là điện áp. Như vậy điện áp giữa hai điểm A và B có điện thế  $\varphi_A$  và  $\varphi_B$  là:

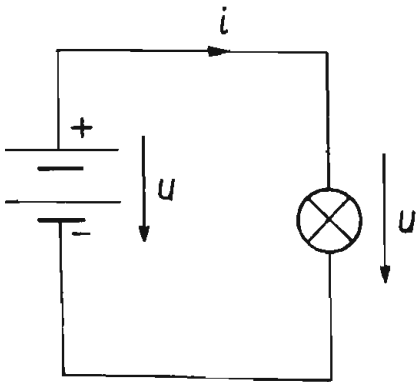
$$u_{AB} = (\varphi_A - \varphi_B) \tag{1.2}$$

Chiều điện áp quy ước là chiều từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp.

### 1.2.3. Chiều dương dòng điện và điện áp

Đối với các mạch điện đơn giản, theo quy ước trên ta dễ dàng xác định được chiều dòng điện và điện áp trong một nhánh. Ví dụ mạch điện gồm một nguồn điện một chiều và một tải (hình 1.3). Trên hình 1.3 đã vẽ chiều điện áp đầu cực nguồn điện, chiều điện áp trên nhánh tải, và chiều dòng điện trong mạch.

Tuy nhiên khi tính toán phân tích mạch điện phức tạp, ta không thể dễ dàng xác định ngay được chiều dòng điện và điện áp các nhánh, đặc biệt đối với dòng điện xoay chiều, chiều của chúng thay đổi theo thời gian. Vì thế khi giải mạch điện, ta tùy ý vẽ chiều dòng điện và điện áp trong các nhánh gọi



Hình 1.3.



là chiều dương. Trên cơ sở các chiều đã vẽ, thiết lập hệ phương trình giải mạch điện. Kết quả tính toán : dòng điện (điện áp) ở một thời điểm nào đó có trị số dương, chiều dòng điện (điện áp) trong nhánh ấy trùng với chiều đã vẽ, ngược lại, nếu dòng điện (điện áp) có trị số âm, chiều của chúng ngược với chiều đã vẽ.

1.2.4. Công suất

Trong mạch điện một nhánh, một phần tử có thể nhận năng lượng hoặc phát năng lượng. Khi chọn chiều dòng điện và điện áp trên nhánh trùng nhau (hình 1.2), sau khi tính toán công suất  $p$  của nhánh ta có kết luận sau về quá trình năng lượng của nhánh. Ở một thời điểm nào đó nếu :

$p = u i > 0$       nhánh nhận năng lượng      (1.3)

$p = u i < 0$       nhánh phát năng lượng.      (1.4)

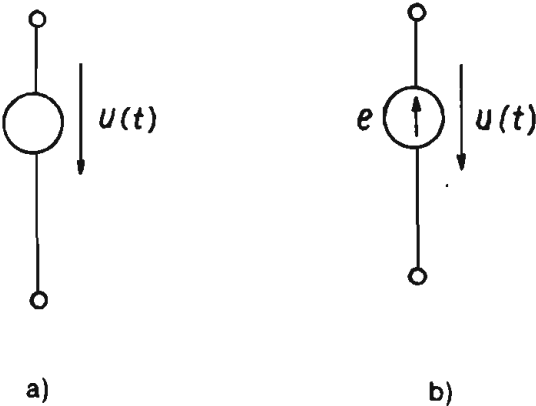
Nếu chọn chiều dòng điện và điện áp trên nhánh ngược nhau ta sẽ có kết luận ngược lại. Trong hệ đơn vị SI đơn vị dòng điện là A (ampe), đơn vị điện áp là V (vôn), đơn vị công suất là W (oát).

§ 1.3. MÔ HÌNH MẠCH ĐIỆN, CÁC THÔNG SỐ

Mạch điện gồm nhiều phần tử. Khi làm việc nhiều hiện tượng điện từ xảy ra trong các phần tử. Khi tính toán người ta thay thế mạch điện thực bằng mô hình mạch. Mô hình mạch gồm nhiều phần tử lý tưởng đặc trưng cho quá trình điện từ trong mạch và được ghép nối với nhau tùy theo kết cấu của mạch. Dưới đây ta sẽ xét các phần tử lý tưởng của mô hình mạch.

1.3.1. Nguồn điện áp  $u(t)$

Nguồn điện áp đặc trưng cho khả năng tạo nên và duy trì một điện áp trên hai cực của nguồn. Nguồn điện áp được ký hiệu như hình 1.4a và được biểu diễn bằng một sức điện động  $e(t)$  (hình 1.4b). Chiều  $e(t)$  từ điểm điện thế thấp đến điểm điện thế cao. Chiều điện áp theo quy ước từ điểm có điện thế cao đến điểm có điện thế thấp, vì thế chiều điện áp đầu cực nguồn ngược với chiều sức điện động (hình 1.4b). Điện áp đầu cực  $u(t)$  sẽ bằng sức điện động :



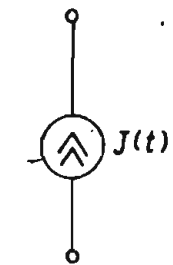
Hình 1.4.

$u(t) = e(t).$       (1.5)

1.3.2. Nguồn dòng điện  $j(t)$

Nguồn dòng điện  $j(t)$  đặc trưng cho khả năng của nguồn điện tạo nên và duy

trì một dòng điện cung cấp cho mạch ngoài. Nguồn dòng điện được ký hiệu như hình 1.5.



Hình 1.5.

### 1.3.3. Điện trở R

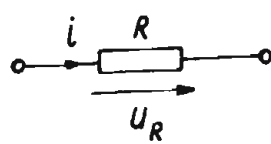
Cho dòng điện  $i$  chạy qua điện trở  $R$  (hình 1.6) và gây ra điện áp rơi trên điện trở  $u_R$ . Theo định luật Ôm quan hệ giữa dòng điện  $i$  và điện áp  $u_R$  là :

$$u_R = Ri \tag{1.6}$$

Người ta còn dùng khái niệm điện dẫn  $g = \frac{1}{R}$  (1.7)

Công suất tiêu thụ trên điện trở

$$p = u_R i = Ri^2 \tag{1.8}$$



Hình 1.6.

Như vậy điện trở  $R$  đặc trưng cho công suất tiêu tán trên điện trở. Đơn vị của điện trở là  $\Omega$  (ôm). Đơn vị của điện dẫn là  $S$  (simen) ,

$$S = \frac{1}{\Omega}$$

Điện năng tiêu thụ trên điện trở trong khoảng thời gian  $t$  là

$$A = \int_0^t p dt = \int_0^t Ri^2 dt, \text{ khi } i = \text{const có } A = Ri^2 t \tag{1.9}$$

Đơn vị của điện năng là Wh (oát giờ) , bội số của nó là kWh.

### 1.3.4. Điện cảm L

Khi có dòng điện  $i$  chạy qua cuộn dây có  $w$  vòng sẽ sinh ra từ thông móc vòng với cuộn dây

$$\psi = w\Phi \tag{1.10}$$

Điện cảm của cuộn dây được định nghĩa

$$L = \frac{\psi}{i} = \frac{w\Phi}{i} \tag{1.11}$$

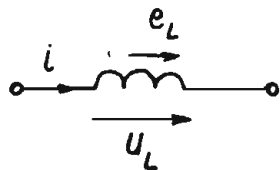
Đơn vị của điện cảm là Henry (H).

Nếu dòng điện  $i$  biến thiên thì từ thông cũng biến thiên và theo định luật cảm ứng điện từ trong cuộn dây xuất hiện sức điện động tự cảm (hình 1.7).

$$e_L = - \frac{d\psi}{dt} = - L \frac{di}{dt} \tag{1.12}$$

Điện áp trên cuộn dây

$$u_L = -e_L = L \frac{di}{dt} \tag{1.13}$$



Hình 1.7.

Công suất trên cuộn dây

$$p_L = u_L i = Li \frac{di}{dt} \quad (1.14)$$

Năng lượng từ trường tích lũy trong cuộn dây

$$W_M = \int_0^t p_L dt = \int_0^i Li di = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1.15)$$

Như vậy, điện cảm  $L$  đặc trưng cho hiện tượng tích lũy năng lượng từ trường của cuộn dây.

### 1.3.5. Hồ cảm $M$

Hiện tượng hồ cảm là hiện tượng xuất hiện từ trường trong một cuộn dây do dòng điện biến thiên trong cuộn dây khác tạo nên. Trên hình 1.8a có hai cuộn dây có liên hệ hồ cảm với nhau. Từ thông hồ cảm trong cuộn 2 do dòng điện  $i_1$  tạo nên là :

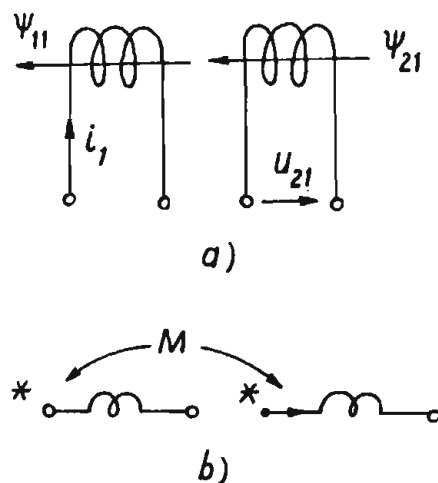
$$\psi_{21} = Mi_1 \quad (1.16)$$

$M$  là hệ số hồ cảm giữa hai cuộn dây. Nếu  $i_1$  biến thiên thì điện áp hồ cảm của cuộn 2 do  $i_1$  tạo nên là :

$$u_{21} = \frac{d\psi_{21}}{dt} = \frac{M di_1}{dt} \quad (1.17)$$

Tương tự, điện áp hồ cảm của cuộn 1 do dòng điện  $i_2$  tạo nên là

$$u_{12} = \frac{d\psi_{12}}{dt} = \frac{M di_2}{dt} \quad (1.18)$$



Hình 1.8.

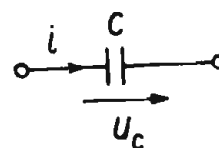
Cũng như điện cảm  $L$ , đơn vị của hồ cảm là Henry (H). Hồ cảm  $M$  được ký hiệu như sơ đồ hình 1.8b và dùng cách đánh dấu một cực cuộn dây bằng dấu sao (\*) để dễ xác định dấu của phương trình (1.17) và (1.18). Đó là các cực cùng tính, khi các dòng điện có chiều cùng đi vào (hoặc cùng ra khỏi) các cực đánh dấu ấy thì từ thông tự cảm  $\psi_{11}$  và từ thông hồ cảm  $\psi_{21}$  cùng chiều. Cực cùng tính phụ thuộc chiều quấn dây và vị trí của các cuộn dây có hồ cảm.

### 1.3.6. Điện dung $C$

Khi đặt điện áp  $u_c$  lên tụ điện có điện dung  $C$  thì tụ điện sẽ được nạp điện với điện tích  $q$  (hình 1.9).

$$q = Cu_c \quad (1.19)$$

Nếu điện áp  $u_c$  biến thiên sẽ có dòng điện chuyển dịch qua tụ điện



Hình 1.9.

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} (Cu_c) = C \frac{du_c}{dt} \quad (1.20)$$

từ đó suy ra 
$$u_c = \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1.21)$$

Nếu tại thời điểm  $t = 0$  mà tụ điện đã có điện tích ban đầu thì điện áp trên tụ điện là :

$$u_c = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + u_c(0) \quad (1.22)$$

Công suất trên tụ điện

$$p_c = u_c i = C u_c \frac{du_c}{dt} \quad (1.23)$$

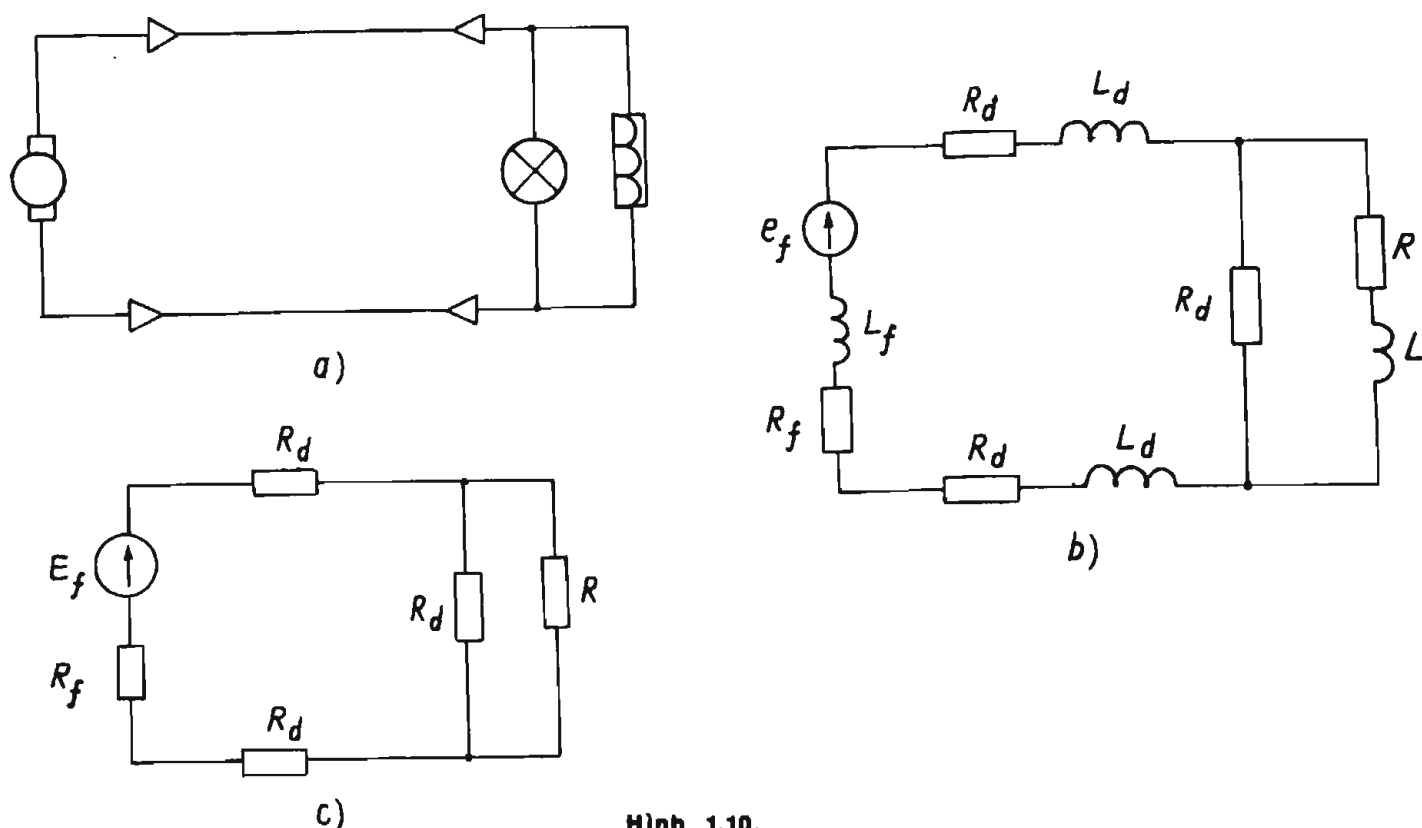
Năng lượng tích lũy trong điện trường của tụ điện

$$W_E = \int_0^t p_c dt = \int_0^u C u_c du_c = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1.24)$$

Vậy điện dung  $C$  đặc trưng cho hiện tượng tích lũy năng lượng điện trường trong tụ điện. Đơn vị của điện dung là Fara (F).

### 1.3.7. Mô hình mạch điện

Mô hình mạch điện còn được gọi là sơ đồ thay thế mạch điện, trong đó kết cấu hình học và quá trình năng lượng giống như ở mạch điện thực, song các phần tử của mạch điện thực đã được mô hình hóa bằng các thông số lý tưởng  $e, j, R, L, M, C$ .



Hình 1.10.

Để thành lập mô hình mạch điện, đầu tiên ta liệt kê các hiện tượng năng lượng xảy ra trong từng phần tử và thay thế chúng bằng các thông số lý tưởng rồi nối với nhau tùy theo kết cấu hình học của mạch.

Hình 1.10b là sơ đồ thay thế của mạch điện thực (hình 1.10a), trong đó máy phát điện được thay thế bằng  $e_f$  nối tiếp với  $L_f$  và  $R_f$  đường dây được thay thế bằng  $R_d$  và  $L_d$ , bóng đèn được thay bằng  $R_d$ , cuộn dây được thay thế bằng  $R, L$ .

Mô hình mạch được sử dụng rất thuận lợi trong việc nghiên cứu và tính toán mạch điện và thiết bị điện.

Cần chú ý rằng, phụ thuộc vào mục đích nghiên cứu và điều kiện làm việc của mạch điện (tần số, dòng điện, điện áp), một mạch điện có thể có nhiều sơ đồ thay thế khác nhau. Hình 1.10b là sơ đồ thay thế đối với dòng điện xoay chiều, hình 1.10c là sơ đồ thay thế đối với dòng điện không đổi.

## § 1.4. PHÂN LOẠI VÀ CÁC CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA MẠCH ĐIỆN

### 1.4.1. Phân loại theo loại dòng điện trong mạch

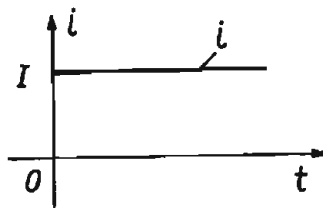
#### a) Mạch điện một chiều

Dòng điện một chiều là dòng điện có chiều không thay đổi theo thời gian. Mạch điện có dòng điện một chiều gọi là mạch điện một chiều. Dòng điện có trị số và chiều không thay đổi theo thời gian gọi là dòng điện không đổi (hình 1.11).

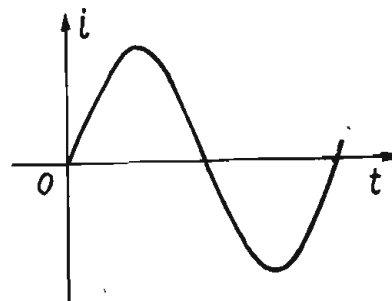
#### b) Mạch điện xoay chiều

Dòng điện xoay chiều là dòng điện có chiều biến đổi theo thời gian.

Dòng điện xoay chiều được sử dụng nhiều nhất là dòng điện sin, biến đổi theo hàm sin của thời gian (hình 1.12).



Hình 1.11.



Hình 1.12.

Mạch điện có dòng điện xoay chiều gọi là mạch điện xoay chiều.

### 1.4.2. Phân loại theo tính chất các thông số $R, L, C$ của mạch

#### a) Mạch điện tuyến tính

Tất cả các phần tử của mạch điện là phần tử tuyến tính, nghĩa là các thông số  $R, L, M, C$  là hằng số, không phụ thuộc vào dòng điện  $i$  và điện áp  $u$  trên chúng.

#### b) Mạch điện phi tuyến

Mạch điện có chứa phần tử phi tuyến gọi là mạch điện phi tuyến. Thông số  $R, L, M, C$  của phần tử phi tuyến thay đổi phụ thuộc vào dòng điện  $i$  và điện áp  $u$  trên chúng.

Trong giáo trình này chủ yếu nghiên cứu mạch điện tuyến tính.

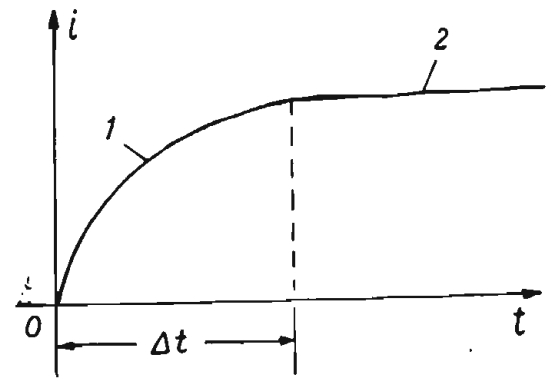
### 1.4.3. Phân loại theo quá trình năng lượng trong mạch

#### a) Chế độ xác lập

Chế độ xác lập là quá trình, trong đó dưới tác động của các nguồn, dòng điện và điện áp trên các nhánh đạt trạng thái ổn định. Ở chế độ xác lập, dòng điện, điện áp trên các nhánh biến thiên theo một quy luật giống với quy luật biến thiên của nguồn điện : đối với mạch điện một chiều, dòng điện, điện áp một chiều ; đối với mạch điện xoay chiều sin, dòng điện, điện áp biến thiên theo quy luật sin với thời gian.

#### b) Chế độ quá độ

Chế độ quá độ là quá trình chuyển tiếp từ chế độ xác lập này sang chế độ xác lập khác. Chế độ quá độ xảy ra sau khi đóng cắt hoặc thay đổi thông số của mạch có chứa L, C. Thời gian quá độ thường rất ngắn. Ở chế độ quá độ, dòng điện và điện áp biến thiên theo các quy luật khác với quy luật biến thiên ở chế độ xác lập. Trên hình 1.13 vẽ quy luật biến thiên của dòng điện. Sau khi đóng mạch R - L vào nguồn điện áp không đổi xảy ra quá trình quá độ ; dòng điện  $i$  biến thiên như đường cong 1. Sau thời gian  $\Delta t$ , quá trình quá độ kết thúc, và thiết lập chế độ xác lập, đường 2 vẽ dòng điện  $i$  ở chế độ xác lập.



Hình 1.13.

### 1.4.4. Phân loại bài toán về mạch điện

Việc nghiên cứu mạch điện được phân thành hai loại bài toán : phân tích mạch và tổng hợp mạch. Nội dung bài toán phân tích mạch là cho biết các thông số và kết cấu mạch điện, cần tính dòng, áp và công suất các nhánh. Tổng hợp mạch là bài toán ngược lại, cần phải thành lập một mạch điện với các thông số và kết cấu thích hợp, để đạt các yêu cầu định trước về dòng, áp và năng lượng.

Trong giáo trình này chủ yếu xét bài toán phân tích mạch điện tuyến tính ở chế độ xác lập.

Cơ sở lý thuyết để nghiên cứu mạch điện là hai định luật Kiếchốp 1 và 2.

## § 1.5. HAI ĐỊNH LUẬT KIẾCHỐP

Định luật Kiếchốp 1 và 2 là hai định luật cơ bản để nghiên cứu, tính toán mạch điện.

### 1.5.1. Định luật Kiếchốp 1

Định luật Kiếchốp 1 phát biểu cho một nút.

*Tổng đại số các dòng điện tại một nút bằng không*

$$\sum i = 0$$

(1.25)

trong đó nếu quy ước các dòng điện đi tới nút mang dấu dương, thì các dòng điện rời khỏi nút mang dấu âm, hoặc ngược lại.

Ví dụ : Tại nút K hình 1.14 định luật Kiếchốp 1 được viết :

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0 \tag{1.26}$$

Từ phương trình (1.26) ta có thể viết lại

$$i_1 = i_2 + i_3 \tag{1.27}$$

Nghĩa là tổng các dòng điện tới nút bằng tổng các dòng điện rời khỏi nút. Định luật Kiếchốp 1 nói lên tính chất liên tục của dòng điện. Trong một nút không có hiện tượng tích lũy điện tích, có bao nhiêu điện tích tới nút thì cũng có bấy nhiêu điện tích rời khỏi nút.

### 1.5.2. Định luật Kiếchốp 2

Định luật Kiếchốp 2 phát biểu cho mạch vòng kín.

Đi theo một vòng kín với chiều tùy ý, tổng đại số các điện áp rơi trên các phần tử bằng không.

$$\sum u = 0 \tag{1.28}$$

Thay thế điện áp rơi  $u$  trên các phần tử bằng các biểu thức (1.5), (1.6), (1.13), (1.20) vào (1.28) và chuyển các sức điện động sang vế phải, ta được phương trình

$$\sum u = \sum e \tag{1.29}$$

Định luật Kiếchốp 2 được phát biểu như sau :

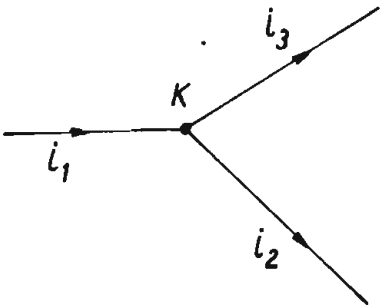
Đi theo một vòng khép kín, theo một chiều tùy ý, tổng đại số các điện áp rơi trên các phần tử bằng tổng đại số các sức điện động trong vòng ; trong đó những sức điện động và dòng điện có chiều trùng với chiều đi vòng sẽ lấy dấu dương, ngược lại mang dấu, âm.

Ví dụ : Đối với vòng kín trong hình 1.15, định luật Kiếchốp 2 viết

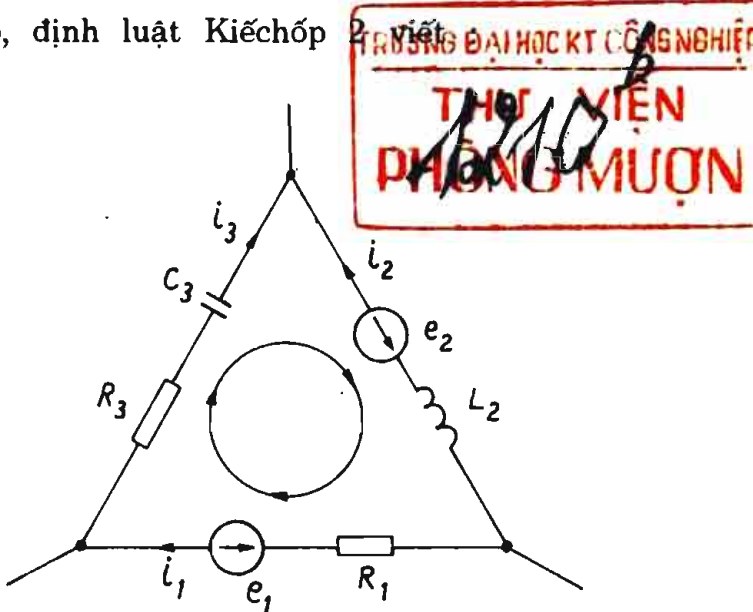
$$R_3 i_3 + \frac{1}{C_3} \int i_3 dt - L_2 \frac{di_2}{dt} + R_1 i_1 = e_2 - e_1$$

Định luật Kiếchốp 2 nói lên tính chất thế của mạch điện. Trong một mạch điện xuất phát từ một điểm theo một mạch vòng kín và trở lại vị trí xuất phát thì lượng tăng thế bằng không.

Cần chú ý rằng hai định luật Kiếchốp viết cho giá trị tức thời của dòng điện và điện áp. Khi nghiên cứu mạch điện ở chế độ quá độ, hai định luật Kiếchốp sẽ được viết dưới dạng này. Khi nghiên cứu mạch điện sin ở chế độ xác lập, dòng điện và điện áp được biểu diễn bằng véctơ và số phức, vì thế hai định luật Kiếchốp sẽ viết dưới dạng véctơ hoặc số phức (chương 2)



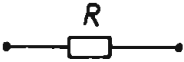

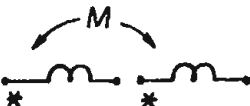
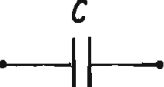
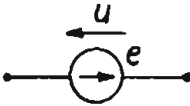

Hình 1.14.



Hình 1.15.

Hai định luật Kiếchốp diễn tả đầy đủ quan hệ dòng điện và điện áp trong mạch điện. Dựa trên hai định luật này người ta có thể xây dựng các phương pháp giải mạch điện, nó là cơ sở để nghiên cứu, tính toán mạch điện.

Bảng tóm tắt chương 1

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Quan hệ dòng áp	Công suất, năng lượng
Điện trở		$\Omega$	$u_R = Ri$	$p_R = Ri^2$ $A = R \int_0^1 i^2 dt$
Điện cảm		H	$u_L = L \frac{di}{dt}$	$p_L = u_L i$ $W_M = \frac{1}{2} Li^2$
Hỗ cảm		H	$u_M = M \frac{di}{dt}$	
Điện dung		F	$i = C \frac{du_c}{dt}$ $u_c = \frac{1}{C} \int_0^1 i dt + u_c(0)$	$p_c = u_c i$ $W_E = \frac{1}{2} Cu_c^2$
Nguồn áp		V	$u = e$ không phụ thuộc $i$	$p_E = ei$
Nguồn dòng		A	$i$ không phụ thuộc $u$	

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 1

- 1) Các thông số đặc trưng của mạch điện là gì, ý nghĩa của nó.
- 2) Quan hệ dòng và áp trong các phần tử của mạch điện.
- 3) Sơ đồ thay thế của mạch điện là gì, cách thành lập sơ đồ thay thế.
- 4) Phát biểu định luật Kiếchốp và ý nghĩa của nó.

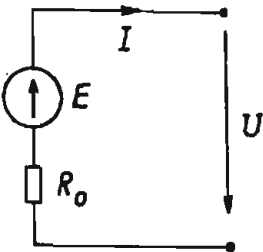
BÀI TẬP CHƯƠNG 1

Bài số 1.1.

Một máy phát điện một chiều khi không tải điện áp trên cực  $U_o = 220\text{ V}$ . Khi tải  $I = 10\text{ A}$ , điện áp trên cực  $U = 210\text{ V}$ . Lập sơ đồ thay thế cho máy phát điện. Tính công suất nguồn phát ra, công suất của tải tiêu thụ, công suất tổn hao trong máy phát.

Bài giải.

Sơ đồ thay thế cho máy phát điện trên hình 1.16 gồm nguồn sdd  $E$  nối tiếp với điện trở trong  $R_o$ . Phương trình định



Hình 1.16.



luật Ôm cho nhánh có nguồn

$$U = E - R_o I$$

khi không tải  $I = 0$  suy ra  $E = U_o = 220 \text{ V}$ ,

khi có tải  $I = 10 \text{ A}$  suy ra  $R_o = \frac{E - U_{\phi}}{I} = \frac{220 - 210}{10} = 1 \text{ } \Omega$ .

Công suất nguồn  $P_{ng} = EI = 220.10 = 2200 \text{ W}$

Công suất tải  $P_l = UI = 210.10 = 2100 \text{ W}$

Công suất tổn hao trong nguồn  $\Delta P = R_o I^2 = 1.10^2 = 100 \text{ W}$ .

**Bài số 1.2.**

Một lò điện trở có công suất  $P = 3 \text{ kW}$ , điện áp  $U = 220 \text{ V}$ . Lập sơ đồ thay thế cho lò. Tính dòng điện lò tiêu thụ và điện năng tiêu thụ trong 1 tháng, biết hệ số sử dụng  $k = 0,5$ .

*Bài giải.*

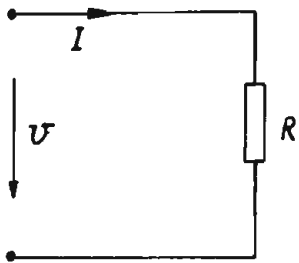
Sơ đồ thay thế cho lò điện gồm điện trở  $R$  (hình 1.17)

Dòng điện của lò  $I = \frac{P}{U} = \frac{3000}{220} = 13,63 \text{ A}$ .

Điện trở của lò  $R = \frac{P}{I^2} = \frac{3000}{13,63^2} = 16,14 \text{ } \Omega$ .

Điện năng lò tiêu thụ trong 1 tháng

$$A = kPt = 0,5.3.30 \times 24 = 1080 \text{ kWh.}$$



Hình 1.17

**Bài số 1.3.**

Sơ đồ thay thế của một tụ điện có tiêu tán như hình 1.18 gồm điện dẫn  $g = \frac{1}{R}$  nối song song với tụ điện  $C$ . Hãy xác định thông số  $g$  và  $C$  căn cứ vào thí nghiệm sau đây :

- Khi đặt điện áp một chiều  $U = 100 \text{ V}$ , dòng điện rò  $i = 1 \text{ } \mu\text{A}$ .

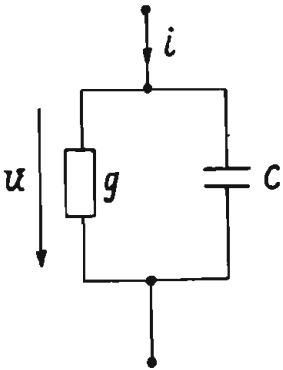
Khi điện áp tăng một lượng  $\Delta U = 10 \text{ V}$ , điện tích trên bản tụ điện được nạp thêm là  $\Delta q = 10^{-5} \text{ C}$ .

*Bài giải.*

Trong thí nghiệm này dòng điện rò của tụ chính là dòng điện qua điện dẫn của sơ đồ, suy ra

$$g = \frac{i}{U} = \frac{1.10^{-6}}{100} = 10^{-8} \text{ S}$$

$$C = \frac{dq}{dU} = \frac{\Delta q}{\Delta U} = \frac{10^{-5}}{10} = 10^{-6} \text{ F.}$$



Hình 1.18.

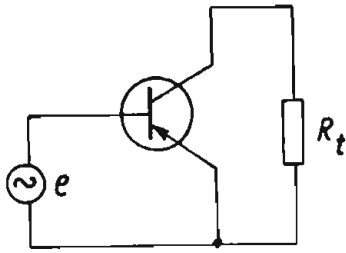
**Bài số 1.4.**

Mạch khuếch đại tranzito hình 1.19a được thay thế bằng sơ đồ hình 1.19b. Tính dòng điện  $i$  và điện áp trên tải  $u_l$ .

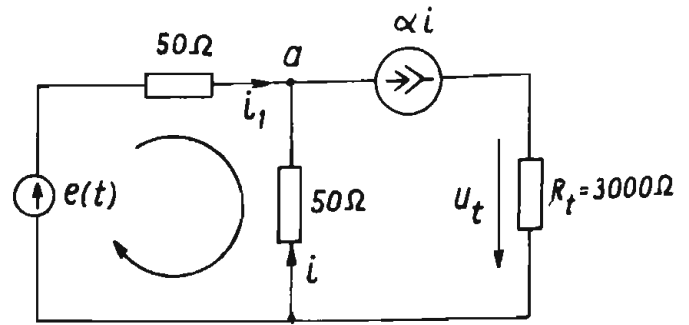
**Bài giải.**

Viết phương trình định luật Kiếchốp 1 cho nút a hình 1.19b :

$$i_1 = \alpha i - i = (\alpha - 1)i$$



Hình 1.19a.



Hình 1.19b.

Viết phương trình định luật Kiếchốp 2 cho mạch vòng kín gồm sđđ  $e(t)$  và các điện trở  $50 \Omega$  ta được :

$$50i_1 - 50i - e(t) = 0$$

$$50(\alpha - 1)i - 50i = e(t)$$

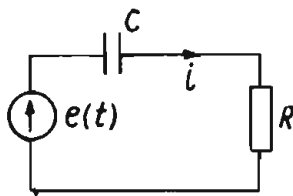
$$i = \frac{e(t)}{50(\alpha - 2)}$$

Vậy điện áp trên tải là

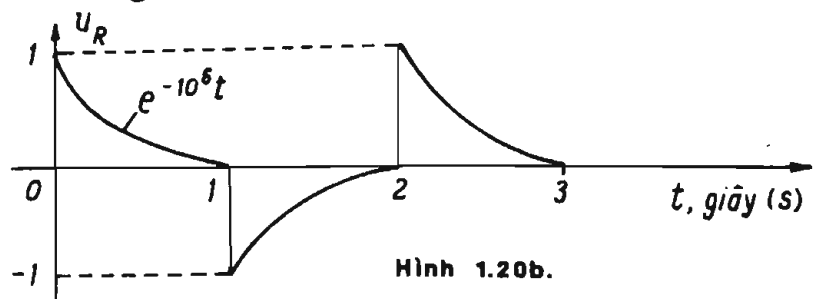
$$u_t = \alpha i R_t = \frac{\alpha \cdot e(t) 3000}{50(\alpha - 2)} = \frac{60 \alpha e(t)}{\alpha - 2}$$

### Bài số 1.5.

Cho mạch điện hình 1.20a gồm tụ điện C có điện dung  $1 \mu F$  nối tiếp với điện trở  $R = 1 \Omega$ . Biết quy luật biến thiên của điện áp trên điện trở theo thời gian như hình 1.20b. Tìm quy luật biến thiên của nguồn  $e(t)$ .



Hình 1.20a.



Hình 1.20b.

**Bài giải.**

Theo hình 1.20b ta có biểu thức của điện áp trên điện trở

$$u_R(t) = \begin{cases} e^{-10^6 t} & \text{khi } 0 < t < 1 \\ -e^{-10^6(t-1)} & \text{khi } 1 < t < 2 \end{cases}$$

Khi  $0 < t < 1$  dòng điện  $i = \frac{u_R(t)}{R} = e^{-10^6 t}$

Viết định luật Kiếchốp 2 cho mạch vòng kín có :

$$e(t) = u_c(t) + u_R(t)$$

trong đó  $u_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i dt$ . Thay  $u_c(t)$  vào phương trình của  $e(t)$  và lấy tích phân ta tìm được

$$e(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + u_R(t) = \frac{1}{10^{-6}} \int_0^t e^{-10^6 t} dt + e^{-10^6 t} = 1 \text{ V}$$

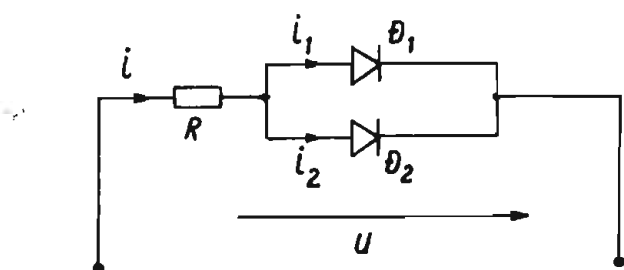
Khi  $1 < t < 2$  bằng cách tương tự ta tìm được  $e(t) = -1 \text{ V}$

Vậy sdd  $e(t)$  là xung chữ nhật có chiều cao là  $1 \text{ V}$  (hình 1.20c).

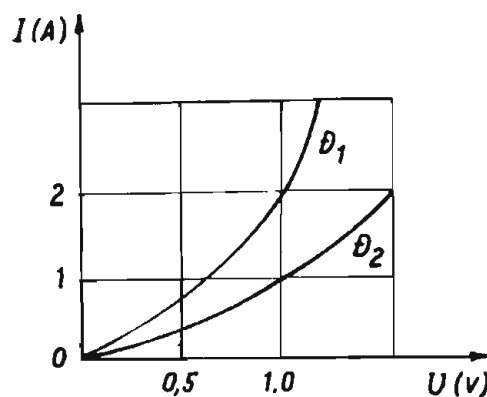
#### Bài số 1.6.

Hai diốt  $D_1$  và  $D_2$  mắc song song (hình 1.21a) có đặc tính Vôn-

Ampe trên hình vẽ (hình 1.21b). Cần mắc nối tiếp vào mỗi diốt một điện trở bằng bao nhiêu để khi dòng điện tổng là  $4 \text{ A}$  thì dòng điện qua mỗi diốt là như nhau  $I_1 = I_2 = 2 \text{ A}$ .



Hình 1.21a.



Hình 1.21b.

#### Bài giải.

Theo đặc tính Vôn-Ampe trên hình 1.21b khi dòng điện  $I_1 = 2 \text{ A}$  thì  $U_1 = 1 \text{ V}$  suy ra điện trở của diốt  $D_1$  là  $R_{d1} = \frac{U_1}{I_1} = 0,5 \Omega$ .

Khi  $I_2 = 2 \text{ A}$  thì  $U_2 = 1,5 \text{ V}$  suy ra điện trở của diốt  $D_2$  là

$$R_{d2} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \Omega.$$

Khi 2 diốt mắc song song để cho dòng điện phân bố đều  $I_1 = I_2 = \frac{I}{2} = 2 \text{ A}$  thì điện trở của các mạch song song phải bằng nhau, vì thế cần mắc nối tiếp với diốt  $D_1$  điện trở là  $0,75 - 0,5 = 0,25 \Omega$ .

## BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ CHƯƠNG 1

### - Bài tập 1.7

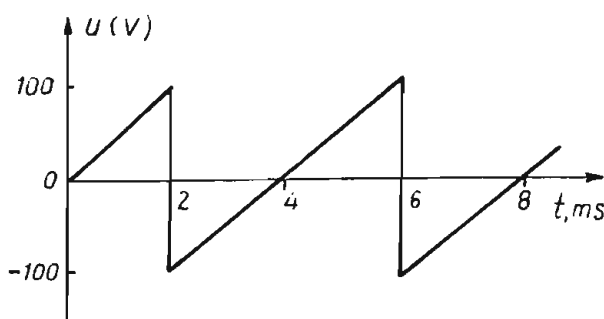
Để chế tạo một bếp điện công suất 600W, điện áp 220V người ta dùng dây điện trở. Tính:

- Dòng điện bếp tiêu thụ.
- Điện trở của bếp.
- Nếu dùng dây điện trở chiều dài 5m, điện trở suất ở nhiệt độ làm việc bằng  $1,3 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}$  thì đường kính của dây bằng bao nhiêu?

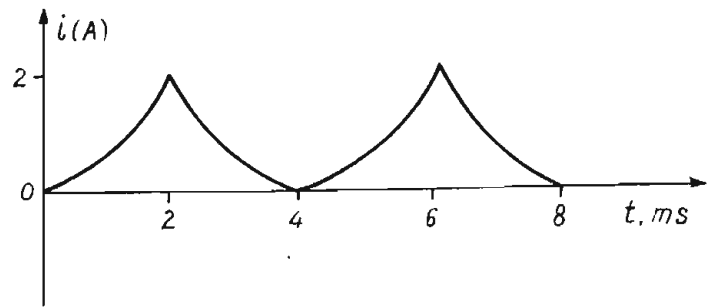
Đáp số a) 2,73A; b) 80,6 $\Omega$ ; c) 0,32mm.

### - Bài số 1.8

Trên cực của cuộn dây thuần cảm  $L = 0,05\text{H}$  người ta đặt điện áp hình răng cưa (hình 1.22a). Vẽ hình dáng dòng điện và tìm biểu thức dòng điện  $i$  trong khoảng  $0 < t < 2\text{ms}$ .



Hình 1.22a



Hình 1.22b

Đáp số  $i = 5 \cdot 10^5 t^2$

Đồ thị dòng điện cho trên hình 1.22b.

### - Bài số 1.9

Đặt điện áp hình sin vào mạch gồm điện trở  $R = 100 \Omega$ , điện cảm  $L = 0,05\text{H}$  mắc nối tiếp, biết dòng điện  $i = 0,822 \exp(-20t) + 0,822 \sin(377t - 0.484\pi)$ . Xác định điện áp trên điện trở  $u_R$ , trên điện cảm  $u_L$  và điện áp tổng  $u$ .

Đáp số

$$\begin{aligned} u_R &= 8,22 \exp(-20t) + 8,22 \sin(377t - 0.484\pi) \\ u_L &= -8,22 \exp(-20t) + 155 \cos(377t - 0.484\pi) \\ u &= 155 \sin 377t \end{aligned}$$

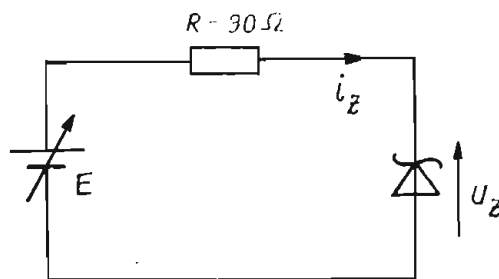
### - Bài số 1.10

Dòng điện qua mạch RC nối tiếp là  $i = 10 \exp(-500t)$ . Ban đầu tụ chưa được nạp. Sau khi dòng điện chạy qua tụ điện có điện tích 0,02C. Nếu điện áp nguồn  $U = 100\text{V}$  và  $u_C = 100[1 - \exp(-500t)]$ , xác định điện dung  $C$  và điện áp trên điện trở  $u_R$ .

Đáp số:  $C = 200 \mu\text{F}$ ,  $u_R = 100 \exp(-500t)$ .

### - Bài số 1.11

Một diốt Zener nối với nguồn áp  $E$  ổn định điều chỉnh được từ 0 đến 30 V qua điện trở  $R = 90 \Omega$  (hình 1.23a). Biết đặc tính dòng điện - điện áp của diốt Zener được làm gần đúng và cho trên hình 1.23b.



Hình 1.23a

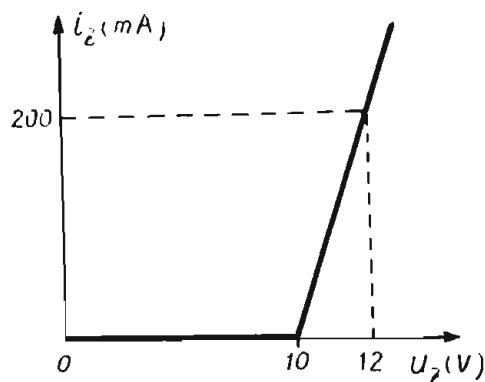
a) Vẽ mô hình diốt Zener trong hai trường hợp:

$$- u_z < 10 \text{ V và } u_z > 10 \text{ V}$$

Tính điện trở động trong mỗi trường hợp.

b) Vẽ đường biểu diễn  $u_z$  theo  $E$ .

c) Tính dòng điện cực đại và công suất tiêu tán cực đại trên điện trở  $R = 90 \Omega$ .



Hình 1.23b

**Đáp số**

a) Khi  $u_z < 10 \Omega$  mạch hở

$$R_d = \infty$$

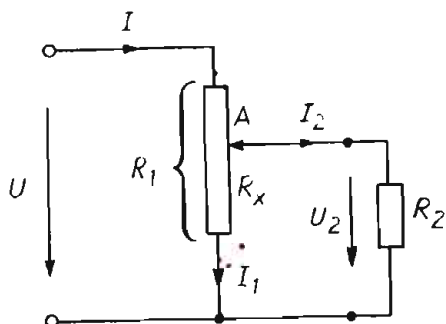
Khi  $u_z > 10 \text{ V}$  sơ đồ gồm sđđ  $E = 10 \text{ V}$  điện trở  $10 \Omega$ ,  $R_d = 10 \Omega$ .

b) Đường biểu diễn gồm 2 đoạn thẳng qua gốc, điểm A ( $E = 10 \text{ V}$ ,  $u_z = 10 \text{ V}$ ) và điểm B ( $E = 30 \text{ V}$ ,  $u_z = 12 \text{ V}$ ).

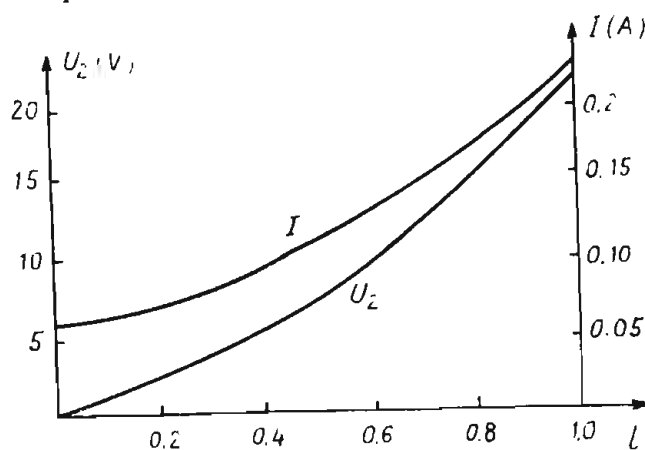
c)  $I_{\max} = 200 \text{ mA}$ ,  $P_{\max} = 3,6 \text{ W}$ .

### Bài số 1.12

Một biến trở trong đó vị trí con chạy A có thể thay đổi (hình 1.24a). Tính biến thiên của điện áp  $U_2 = U_A - U_B$  và dòng điện  $I$  theo khoảng biến thiên của con chạy  $AB = x$ . Cho  $U = 24 \text{ V}$ ,  $R_2 = 100 \Omega$ ,  $R_1 = 400 \Omega$ . Ký hiệu  $l$  là chiều dài của



Hình 1.24a



Hình 1.24b

biến trở  $R_1$ .

Đáp số: 
$$U_2 = \frac{UR_2R_x}{(R_1 - R_x)(R_2 + R_x) + R_2R_x}$$

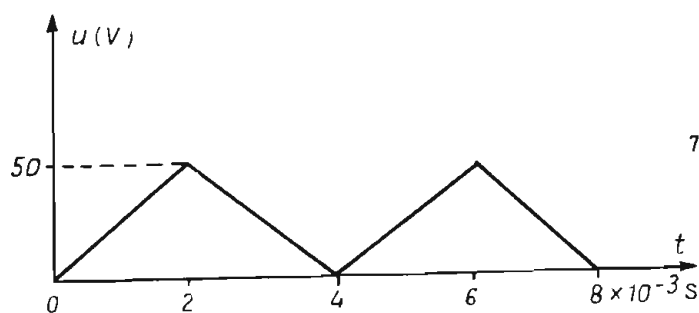
$$I = \frac{U(R_2 + R_x)}{(R_1 - R_x)(R_2 + R_x) + R_2R_x}$$

Đồ thị  $U_2 = f(\frac{x}{l})$  và  $I = f(\frac{x}{l})$  cho trên hình vẽ 1.24b.

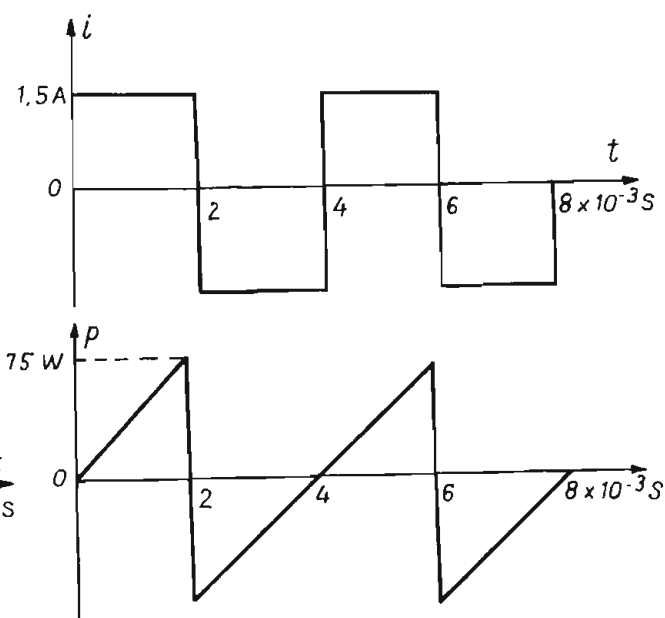
### - Bài số 1.13

Đặt điện áp có hình dáng cho trên hình 1.25a lên cực của tụ điện có điện dung  $C = 40\mu F$ . Vẽ đồ thị biểu diễn  $i(t)$ ,  $p(t)$  và xác định  $I_m$ ,  $P_m$

Đáp số  $I_m = 1,5A$ ,  $P_m = 75W$ . Đồ thị  $i(t)$  và  $p(t)$  cho trên hình 1.25b



Hình 1.25a



Hình 1.25b

## Chương 2

# DÒNG ĐIỆN SIN

Dòng điện sin là dòng điện xoay chiều biến đổi theo quy luật hàm sin của thời gian. Dòng điện sin đang được dùng rất rộng rãi vì những ưu điểm về kỹ thuật và kinh tế.

### § 2.1. CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG CHO DÒNG ĐIỆN SIN

Trị số của dòng điện, điện áp sin ở một thời điểm  $t$  gọi là trị số tức thời và được biểu diễn là :

$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \psi_i) \quad (2.1)$$

$$u = U_{\max} \sin(\omega t + \psi_u) \quad (2.2)$$

trong đó :  $i, u$  - trị số tức thời của dòng điện, điện áp

$I_{\max}, U_{\max}$  - trị số cực đại (biên độ) của dòng điện, điện áp.

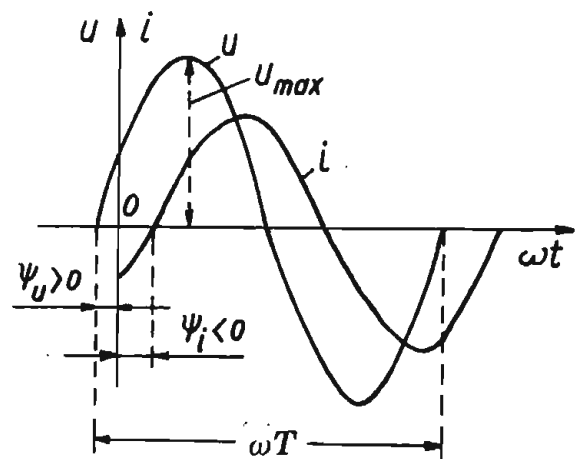
Để phân biệt, trị số tức thời viết bằng chữ in thường :  $i, u, e, p$ . Trị số cực đại viết bằng chữ in hoa :  $I_{\max}, U_{\max}, E_{\max}$  ;  $(\omega t + \psi_i), (\omega t + \psi_u)$  : là góc pha (gọi tắt là pha) của dòng điện, điện áp. Pha xác định trị số và chiều của dòng điện, điện áp ở thời điểm  $t$ .

$\psi_i, \psi_u$  - pha đầu của dòng điện, điện áp. Pha đầu là pha ở thời điểm  $t = 0$ . Phụ thuộc vào chọn tọa độ thời gian, pha đầu có thể bằng không, âm hoặc dương. Trên hình 2.1 vẽ cho trường hợp  $\psi_u > 0$  và  $\psi_i < 0$ .

$\omega$  - tần số góc của dòng điện sin, đơn vị của  $\omega$  là rad/s.

Chu kỳ  $T$  của dòng điện sin là khoảng thời gian ngắn nhất để dòng điện lặp lại trị số và chiều biến thiên, nghĩa là trong khoảng thời gian  $T$  góc pha biến thiên một lượng là  $\omega T = 2\pi$ .

Số chu kỳ của dòng điện trong một giây gọi là tần số  $f$



Hình 2.1.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.3)$$

Đơn vị của tần số là héc (Hz).

Giữa tần số  $f$  và tần số góc  $\omega$  có quan hệ sau :

$$\omega = 2\pi f \quad (2.4)$$

Tần số của dòng điện xoay chiều trong công nghiệp

$$f = 50 \text{ Hz} , \quad \omega = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ rad/s}$$

Do đặc tính các thông số của mạch, các đại lượng dòng điện, điện áp thường có sự lệch pha với nhau. Góc lệch pha giữa các đại lượng là hiệu số pha đầu của chúng. Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện thường ký hiệu là  $\varphi$ , được định nghĩa như sau :

$$\varphi = \psi_u - \psi_i \quad (2.5)$$

Góc  $\varphi$  phụ thuộc vào các thông số của mạch

$\varphi > 0$  điện áp vượt trước dòng điện (hình 2.2a)

$\varphi < 0$  điện áp chậm sau dòng điện (hình 2.2b)

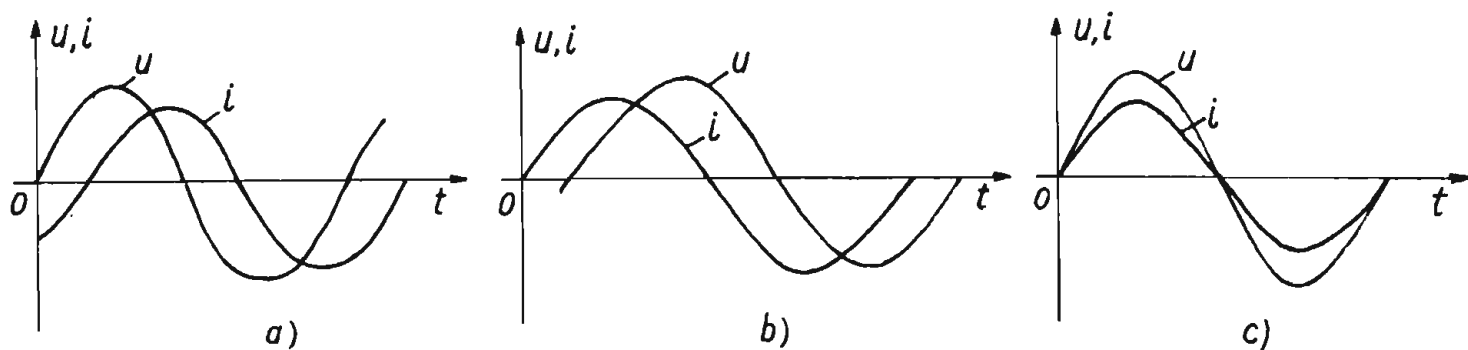
$\varphi = 0$  điện áp trùng pha dòng điện (hình 2.2c)

Nếu biểu thức tức thời của điện áp  $u$  là :

$$u = U_{\max} \sin \omega t \quad (2.6)$$

thì dòng điện tức thời là :

$$i = I_{\max} \sin(\omega t - \varphi) \quad (2.7)$$



Hình 2.2.

## § 2.2. TRỊ SỐ HIỆU DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN SIN

Chúng ta đã biết tác dụng nhiệt, lực của dòng điện tỷ lệ với bình phương dòng điện. Đối với dòng điện biến đổi chu kỳ để tính các tác dụng, cần tính trị số trung bình bình phương dòng điện trong một chu kỳ. Ví dụ khi tính công suất tác dụng  $P$  của dòng điện qua điện trở  $R$ , ta phải tính trị số trung bình công suất điện trở tiêu thụ trong thời gian một chu kỳ  $T$ . Công suất tác dụng được tính như sau :



$$P = \frac{1}{T} \int_0^T Ri^2 dt = R \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt = RI^2 \quad (2.8)$$

trong đó

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (2.9)$$

Trị số  $I$  tính theo biểu thức (2.9) được gọi là trị số hiệu dụng của dòng điện biến đổi. Nó được dùng để đánh giá, tính toán hiệu quả tác động của dòng điện biến thiên chu kỳ.

Đối với dòng điện sin, thay  $i = I_{\max} \sin \omega t$  vào (2.9), sau khi lấy tích phân, ta được quan hệ giữa trị số hiệu dụng và trị số cực đại là :

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (2.10)$$

Tương tự, ta được trị số hiệu dụng của điện áp, sức điện động :

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (2.11)$$

$$E = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} \quad (2.12)$$

Thay thế trị số  $I_{\max}$ ,  $U_{\max}$  theo (2.10) và (2.11) vào biểu thức (2.1) và (2.2), ta được biểu thức trị số tức thời viết theo trị số hiệu dụng như sau :

$$i = I\sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_i) \quad (2.13)$$

$$u = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_u) \quad (2.14)$$

Trị số hiệu dụng được dùng rất rộng rãi. Trong thực tế, khi nói trị số dòng điện 10 A, điện áp 220 V ta hiểu đó là trị số hiệu dụng của chúng. Các số ghi trên các dụng cụ và thiết bị, thường là trị số hiệu dụng. Trị số hiệu dụng thường được dùng trong các công thức tính toán và đồ thị vectơ.

Trị số hiệu dụng viết bằng chữ in hoa  $I$ ,  $U$ ,  $E$ ,  $P$ .

## § 2.3. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN SIN BẰNG VÉCTƠ

Trong tiết §2.1, §2.2 ta đã biểu diễn dòng điện sin bằng biểu thức tức thời (2.1), (2.2), hoặc đường cong trị số tức thời (hình 2.1).

Việc biểu diễn như vậy không thuận tiện khi cần so sánh hoặc thực hiện các phép tính cộng, trừ dòng điện, điện áp. Từ toán học ta đã biết việc cộng, trừ các đại lượng sin cùng tần số, tương ứng với việc cộng, trừ các vectơ biểu diễn chúng trên đồ thị, vì thế trong kỹ thuật điện thường hay biểu diễn các đại lượng sin bằng vectơ có độ lớn (môđun) bằng trị số hiệu dụng và góc tạo với trục  $Ox$  bằng pha đầu của các đại lượng ấy. Bằng cách biểu diễn đó mỗi đại lượng sin được biểu diễn bằng một vectơ, ngược lại mỗi vectơ biểu diễn một đại lượng sin tương ứng.

Trên hình 2.3a vẽ các vectơ ứng với góc pha  $\psi > 0$  và  $\psi < 0$ . Để ví dụ, trong hình 2.3b, vẽ vectơ dòng điện  $\vec{I}$  biểu diễn dòng điện  $i = 10\sqrt{2}\sin(\omega t + 20^\circ)$ , và vectơ điện áp  $\vec{U}$  biểu diễn điện áp  $u = 20\sqrt{2}\sin(\omega t - 45^\circ)$ .

Sau khi đã biểu diễn các đại lượng dòng điện và điện áp bằng vectơ, hai định luật Kirchhoff sẽ được viết dưới dạng sau :

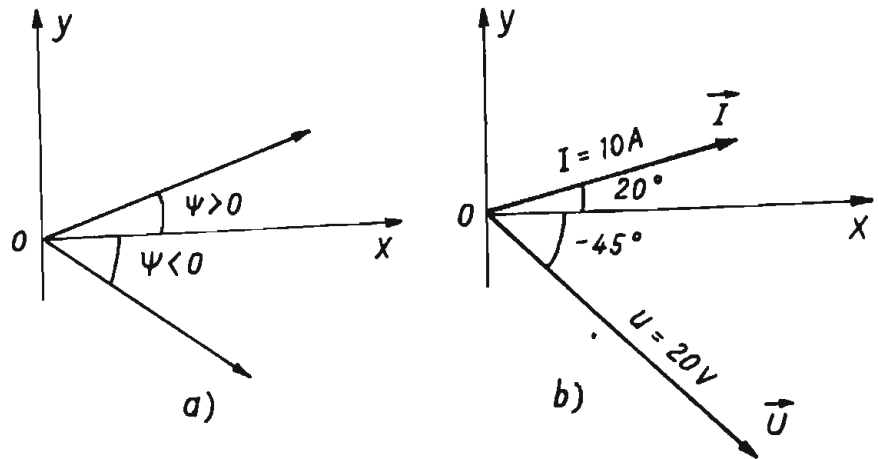
Định luật Kirchhoff 1 :

$$\sum \vec{I} = 0 \quad (2.15)$$

Định luật Kirchhoff 2 :

$$\sum \vec{U} = 0 \quad (2.16)$$

Dựa vào cách biểu diễn các đại lượng và hai định luật Kirchhoff bằng vectơ, ta có thể giải mạch điện trên đồ thị, gọi là phương pháp đồ thị vectơ.



Hình 2.3.

## § 2.4. DÒNG ĐIỆN SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN TRỞ

Khi có dòng điện  $i = I_{\max}\sin\omega t$  qua điện trở  $R$  hình 2.4a, điện áp trên điện trở sẽ là:

$$u_R = Ri = RI_{\max}\sin\omega t = U_{R\max}\sin\omega t$$

trong đó :

$$U_{R\max} = RI_{\max}$$

$$U_R = \frac{U_{R\max}}{\sqrt{2}} = RI.$$

Từ đó rút ra :

Quan hệ giữa trị số hiệu dụng của dòng và áp là :

$$U_R = RI \text{ hoặc } I = \frac{U_R}{R} \quad (2.17)$$

Dòng điện và điện áp có cùng tần số và trùng pha nhau. Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp vẽ trên hình 2.4b.

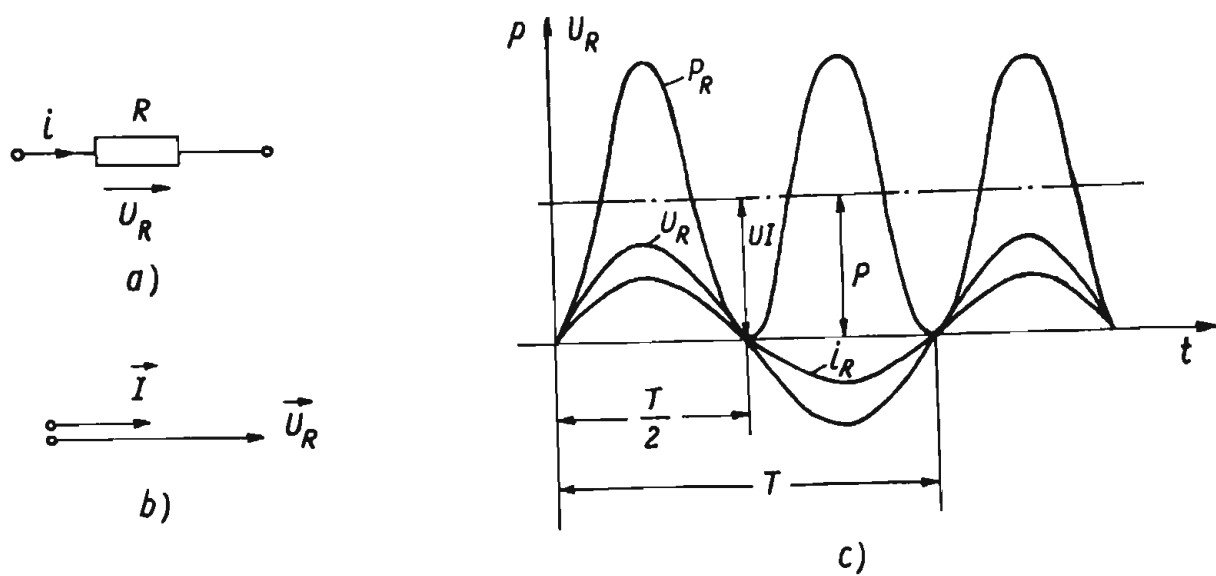
Công suất tức thời của điện trở là :

$$p_R(t) = u_R i = U_{\max} I_{\max} \sin^2 \omega t = U_R I (1 - \cos 2\omega t) \quad (2.18)$$

Trên hình 2.4c vẽ đường cong  $u_R$ ,  $i$  và  $p_R$ . Ta thấy  $p_R(t) \geq 0$ , nghĩa là điện trở  $R$  liên tục tiêu thụ điện năng của nguồn và biến đổi sang dạng năng lượng khác.

Vì công suất tức thời không có ý nghĩa thực tiễn, nên ta đưa ra khái niệm công suất tác dụng P, là trị số trung bình của công suất tức thời  $p_R$  trong một chu kỳ:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p_R(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_R I (1 - \cos 2\omega t) dt$$



Hình 2.4.

Sau khi lấy tích phân ta có :

$$P = U_R I = R I^2 \tag{2.19}$$

Đơn vị của công suất tác dụng là (oát) W hoặc (kilôoát) kW = 10<sup>3</sup>W.

### § 2.5. DÒNG ĐIỆN SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN CẢM

Khi có dòng điện  $i = I_{\max} \sin \omega t$  qua điện cảm L hình 2.5a điện áp trên điện cảm sẽ là :

$$u_L(t) = L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_{\max} \sin \omega t)}{dt} = \omega L I_{\max} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = U_{L\max} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

trong đó :  $U_{L\max} = \omega L I_{\max} = X_L I_{\max}$

$$U_L = \frac{U_{L\max}}{\sqrt{2}} = X_L I.$$

$X_L = \omega L$  có thứ nguyên của điện trở, đo bằng Ω gọi là cảm kháng.

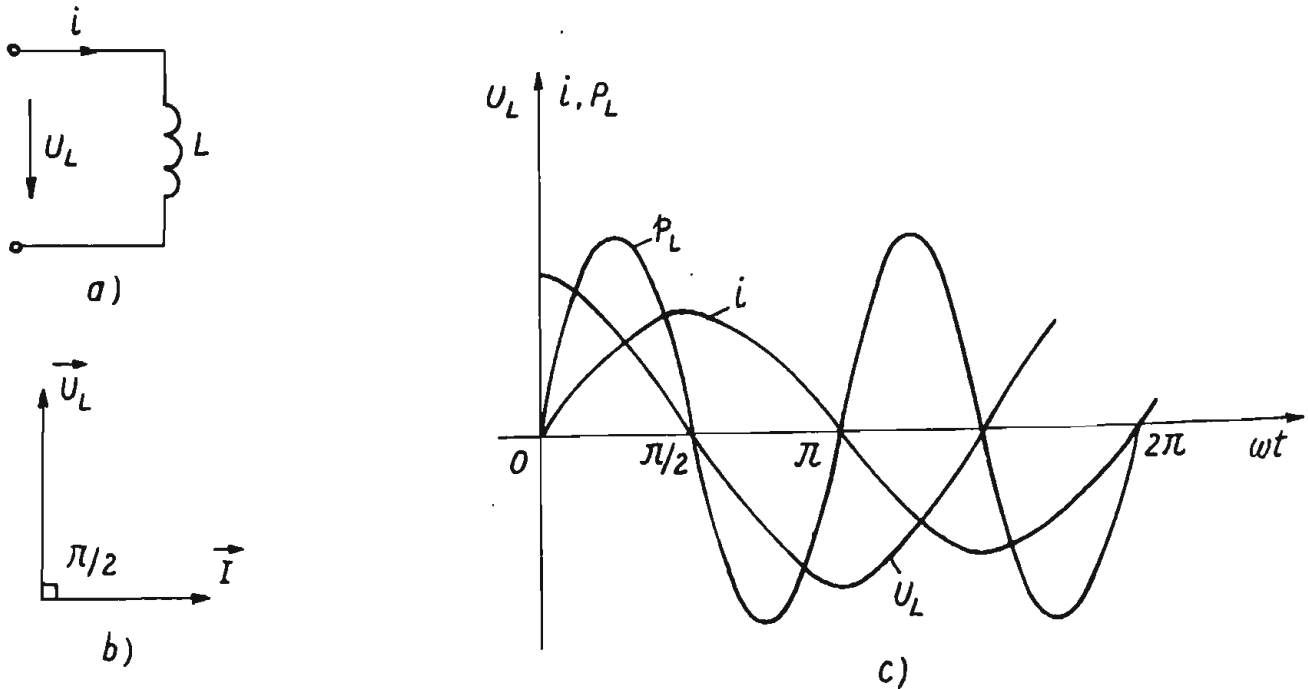
Từ đó rút ra quan hệ giữa trị số hiệu dụng của dòng và áp là :

$$U_L = X_L I \text{ hoặc } I = \frac{U_L}{X_L} \tag{2.20}$$

Dòng điện và điện áp có cùng tần số song lệch pha nhau một góc  $\pi/2$ . Dòng điện chậm sau điện áp một góc  $\pi/2$ . Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp vẽ trên hình 2.5b.

Công suất tức thời của điện cảm :

$$p_L(t) = u_L i = U_{L\max} I_{\max} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \sin \omega t = \frac{U_{L\max} I_{\max}}{2} \sin 2\omega t = U_L I \sin 2\omega t \quad (2.21)$$



Hình 2.5.

Trên hình 2.5c vẽ đường cong  $u_L$ ,  $i$  và  $p_L$ . Ta thấy có hiện tượng trao đổi năng lượng. Trong khoảng  $\omega t = 0$  đến  $\omega t = \pi/2$ , công suất  $p_L(t) > 0$ , điện cảm nhận năng lượng và tích lũy trong từ trường. Trong khoảng tiếp theo  $\omega t = \pi/2$  đến  $\omega t = \pi$ , công suất  $p_L(t) < 0$ , năng lượng tích lũy trả lại cho nguồn và mạch ngoài. Quá trình cứ tiếp diễn tương tự, vì thế trị số trung bình của công suất  $p_L(t)$  trong một chu kỳ sẽ bằng không.

Công suất tác dụng của điện cảm bằng không:

$$P_L = \frac{1}{T} \int_0^T p_L(t) dt = 0.$$

Để biểu thị cường độ quá trình trao đổi năng lượng của điện cảm ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng  $Q_L$  của điện cảm. Theo công thức 2.21 ta có :

$$Q_L = U_L I = X_L I^2 \quad (2.22)$$

Đơn vị của công suất phản kháng là VAR hoặc  $\text{kVAR} = 10^3 \text{ VAR}$ .

## § 2.6. DÒNG ĐIỆN SIN TRONG NHÁNH THUẦN ĐIỆN DUNG

Khi có dòng điện  $i = I_{\max} \sin \omega t$  qua điện dung (hình 2.6a) điện áp trên điện dung là :

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int I_{\max} \sin \omega t dt = \frac{1}{\omega C} I_{\max} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = U_{C\max} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

trong đó :  $U_{C\max} = \frac{1}{\omega C} I_{\max} = X_C I_{\max}$

$$U_C = \frac{U_{C\max}}{\sqrt{2}} = X_C I.$$

$X_C = \frac{1}{\omega C}$  có thứ nguyên của điện trở, đo bằng ôm được gọi là dung kháng.

Từ đó rút ra :

Quan hệ giữa trị số hiệu dụng của dòng điện và điện áp là :

$$U_C = X_C I ; \text{ hoặc } I = \frac{U_C}{X_C} \quad (2.23)$$

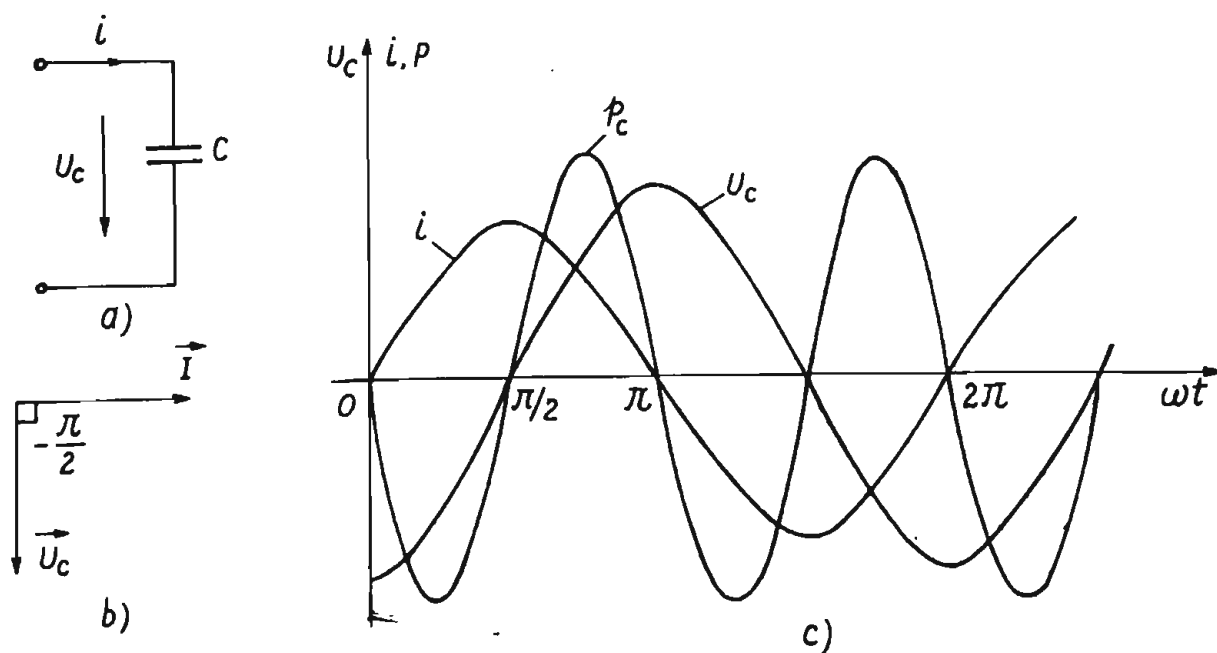
Dòng điện và điện áp có cùng tần số song lệch pha nhau một góc  $\pi/2$ . Dòng điện vượt trước điện áp một góc  $\pi/2$ . Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp vẽ trên hình 2.6b.

Công suất tức thời của điện dung :

$$p_C(t) = u_C i = U_{C\max} I_{\max} \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = -U_C I \sin 2\omega t \quad (2.24)$$

Trên hình 2.6c vẽ đường cong  $u_C$ ,  $i$  và  $p_C$ . Ta nhận thấy có hiện tượng trao đổi năng lượng giữa điện dung với phần mạch còn lại. Công suất tác dụng điện dung tiêu thụ :

$$P_C = \frac{1}{T} \int_0^T p_C(t) dt = 0$$



Hình 2.6

Để biểu thị cường độ quá trình trao đổi năng lượng của điện dung, ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng  $Q_C$  của điện dung.

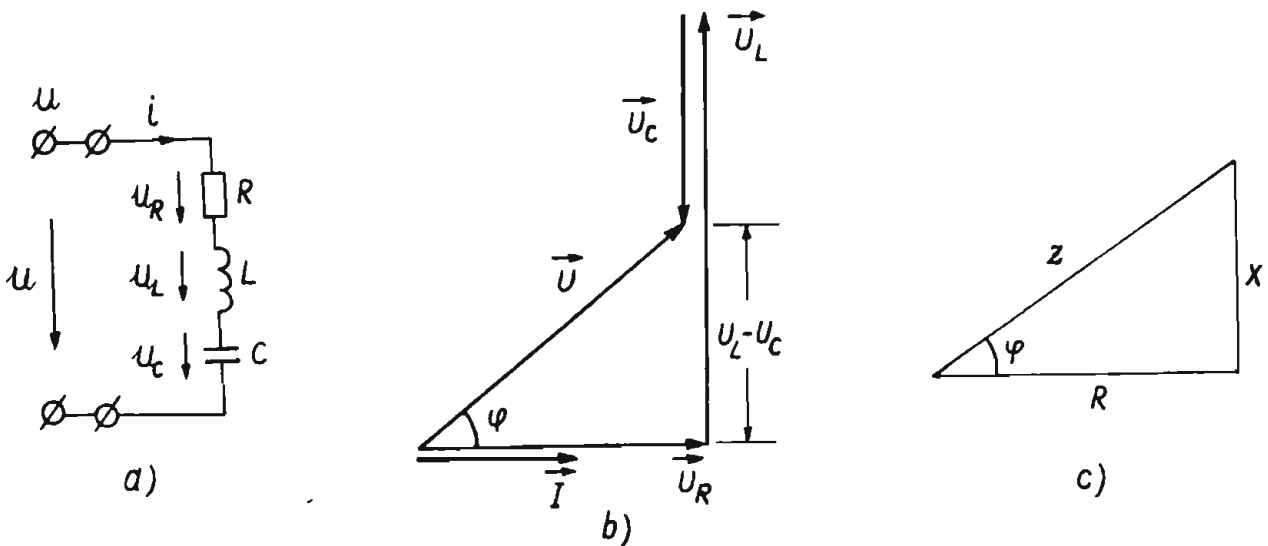
Theo công thức (2.24) ta có :

$$Q_C = - U_C I = - X_C I^2 \quad (2.25)$$

Đơn vị công suất phản kháng là VAR hoặc kVAR (kilô VAR) =  $10^3$ VAR.

## § 2.7. DÒNG ĐIỆN SIN TRONG NHÁNH R - L - C NỐI TIẾP

Khi có dòng điện  $i = I_{\max} \sin \omega t$  qua nhánh R - L - C nối tiếp (hình 2.7a) sẽ gây ra những điện áp  $u_R$ ,  $u_L$ ,  $u_C$  trên các phần tử R, L, C. Như đã xét ở §2.4, §2.5, §2.6, các đại lượng dòng và áp đều biến thiên sin với cùng tần số, do đó có thể biểu diễn trên cùng một đồ thị vectơ. Dòng điện  $i$  chung cho các phần tử, vì thế trước hết ta vẽ vectơ dòng điện  $\vec{I}$ , sau đó dựa vào các kết luận về góc lệch pha (đã xét ở trên) vẽ các vectơ điện áp trên điện trở  $\vec{U}_R$ , điện áp trên cuộn cảm  $\vec{U}_L$ , điện áp trên điện dung  $\vec{U}_C$  (hình 2.7b).



Hình 2.7.

Điện áp nguồn  $U$  bằng :

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$$

Từ đồ thị vectơ ta tính được trị số hiệu dụng của điện áp

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = Iz$$

trong đó :

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.26)$$

$z$  có thứ nguyên là  $\Omega$ , gọi là tổng trở của nhánh R - L - C nối tiếp.

Đặt

$$X = X_L - X_C, \quad (2.27)$$

$X$  được gọi là điện kháng của nhánh. Từ công thức (2.26) chúng ta thấy điện trở  $R$ , điện kháng  $X$  và tổng trở  $z$  là ba cạnh của một tam giác vuông trong đó đường huyền là tổng trở  $z$ , còn hai cạnh góc vuông là điện trở  $R$  và điện kháng  $X$  (hình 2.7c). Tam giác tổng trở giúp ta dễ dàng nhớ các quan hệ giữa các thông số  $R$ ,  $X$ ,  $z$  và tính góc lệch pha  $\varphi$ . Nghiên cứu nhánh R - L - C nối tiếp ta rút ra :

Quan hệ giữa trị số hiệu dụng dòng và áp trên nhánh R - L - C nối tiếp là :

$$U = Iz \text{ hoặc } I = \frac{U}{z} \quad (2.28)$$

Điện áp lệch pha với dòng điện một góc  $\varphi = \psi_u - \psi_i$  được tính như sau :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{I(X_L - X_C)}{IR} = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{X}{R} \quad (2.29)$$

Khi  $X_L - X_C = 0$ , góc  $\varphi = 0$  dòng điện trùng pha với điện áp, lúc này ta có hiện tượng cộng hưởng điện áp, dòng điện trong nhánh  $I = \frac{U}{R}$  đạt trị số lớn nhất.

Nếu  $X_L > X_C$ ,  $\varphi > 0$  mạch có tính chất điện cảm, dòng điện chậm sau điện áp một góc  $\varphi$ .

Nếu  $X_L < X_C$ ,  $\varphi < 0$ , mạch có tính chất điện dung, dòng điện vượt trước điện áp một góc  $\varphi$ .

## § 2.8. CÔNG SUẤT CỦA DÒNG ĐIỆN SIN

Ta xét trường hợp tổng quát, mạch điện có thể chỉ có một nhánh, một phần tử, một thiết bị như đã xét ở trên, hoặc gồm nhiều nhánh có các thông số  $R$ ,  $L$ ,  $C$  như ký hiệu ở hình 2.8.

Khi biết dòng điện  $I$ , điện áp  $U$ , góc lệch pha  $\varphi$  giữa điện áp và dòng điện ở đầu vào, hoặc biết các thông số  $R$ ,  $L$ ,  $C$  của các nhánh, ta tính công suất như sau : Đối với dòng điện xoay chiều có ba loại công suất :  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ .

### 2.8.1. Công suất tác dụng $P$

Công suất tác dụng  $P$  là công suất trung bình trong một chu kỳ :

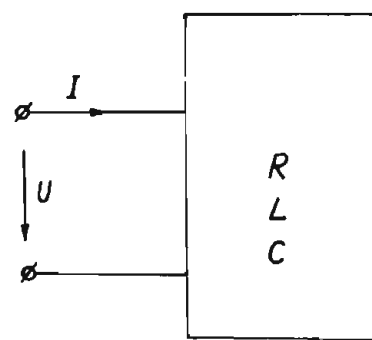
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt \quad (2.30)$$

Thay giá trị của  $u$  và  $i$  vào (2.30) ta có

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U \sqrt{2} \sin \omega t \cdot I \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi) dt$$

Sau khi lấy tích phân ta có :

$$P = UI \cos \varphi \quad (2.31)$$



Hình 2.8.

Công suất tác dụng  $P$  có thể được tính bằng tổng công suất tác dụng trên các điện trở của các nhánh của mạch điện

$$P = \sum R_n I_n^2 \quad (2.32)$$

trong đó :

$R_n$ ,  $I_n$  - điện trở, dòng điện của nhánh.

Công suất tác dụng  $P$  đặc trưng cho hiện tượng biến đổi điện năng sang các dạng năng lượng khác như nhiệt năng, cơ năng v.v...

### 2.8.2. Công suất phản kháng $Q$

Để đặc trưng cho cường độ quá trình trao đổi năng lượng điện từ trường, trong tính toán người ta đưa ra khái niệm công suất phản kháng  $Q$ .

$$Q = UI \sin \varphi \quad (2.33a)$$

Công suất phản kháng có thể được tính bằng tổng công suất phản kháng của điện cảm và điện dung của mạch điện.

$$Q = Q_L + Q_C = \sum X_{L_n} I_n^2 - \sum X_{C_n} I_n^2 \quad (2.33b)$$

trong đó :  $X_{L_n}$ ,  $X_{C_n}$ ,  $I_n$  lần lượt là cảm kháng, dung kháng, dòng điện của mỗi nhánh.

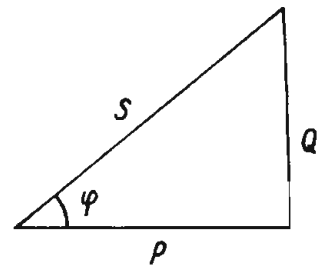
### 2.8.3. Công suất biểu kiến $S$

Ngoài công suất tác dụng  $P$ , và công suất phản kháng  $Q$  người ta còn đưa ra khái niệm công suất biểu kiến được định nghĩa là :

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.34)$$

Công suất biểu kiến còn được gọi là công suất toàn phần.

So sánh biểu thức của  $P$  và  $S$  ta thấy cực đại của công suất tác dụng  $P$  (khi  $\cos \varphi = 1$ ) bằng công suất biểu kiến  $S$ . Vậy  $S$  nói lên khả năng của thiết bị. Trên biển máy của các máy phát điện, máy biến áp người ta ghi công suất biểu kiến định mức của chúng.



Hình 2.9.

Quan hệ giữa  $S$ ,  $P$ ,  $Q$  được mô tả bằng một tam giác vuông, trong đó  $S$  là cạnh huyền,  $P$ ,  $Q$  là hai cạnh góc vuông (hình 2.9). Tam giác trên hình 2.9 gọi là tam giác công suất.

$P$ ,  $S$ ,  $Q$  có cùng một thứ nguyên, song để phân biệt ta cho các đơn vị khác nhau. Đơn vị của  $P$  là  $W$ , của  $Q$  là  $VAR$  còn của  $S$  là  $VA$ .

### 2.8.4. Đo công suất $P$

Để đo công suất tác dụng  $P$  người ta thường dùng oát kế kiểu điện động. Vế cấu tạo oát kế kiểu điện động gồm hai cuộn dây. Cuộn phần tĩnh có tiết diện lớn mắc nối tiếp với phụ tải còn gọi là cuộn dòng điện. Cuộn phần động có tiết diện nhỏ số vòng nhiều mắc song song với mạch cần đo còn gọi là cuộn điện áp. Dòng

điện qua cuộn điện áp là :  $i_v = \frac{u}{R_v}$

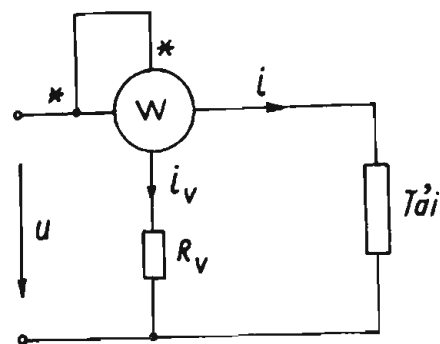
Mômen quay của dụng cụ tỷ lệ với tích số của hai dòng điện  $i$  và  $i_v$

$$M = k i i_v = k \frac{ui}{R_v} = k' P$$



Mômen quay tỷ lệ với công suất tiêu thụ của tải, dụng cụ dùng để đo công suất tác dụng.

Khi sử dụng oát kế cần chú ý nối đúng cực tính của các cuộn dây (đầu đánh dấu \*). Nếu oát kế chỉ ngược cần đổi lại cực tính của cuộn dòng điện hoặc cuộn điện áp.



Hình 2.9b.

## § 2.9. NÂNG CAO HỆ SỐ CÔNG SUẤT $\cos\varphi$

Trong biểu thức công suất tác dụng  $P = UI\cos\varphi$ ,  $\cos\varphi$  được gọi là hệ số công suất. Hệ số  $\cos\varphi$  là chỉ tiêu kỹ thuật quan trọng, nó có ý nghĩa rất lớn về kinh tế.

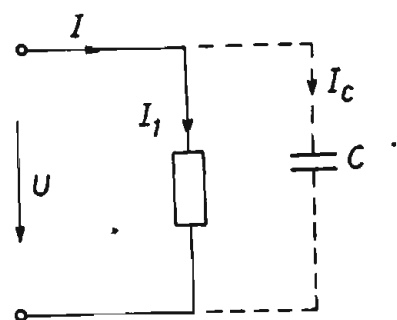
Nâng cao hệ số  $\cos\varphi$  sẽ tăng được khả năng sử dụng công suất nguồn. Ví dụ một máy phát điện có  $S_{dm} = 10000$  kVA nếu  $\cos\varphi = 0,7$ , công suất định mức phát ra  $P_{dm} = S_{dm}\cos\varphi = 10000 \cdot 0,7 = 7000$  kW, nếu nâng  $\cos\varphi = 0,9$ ,  $P_{dm} = 10000 \cdot 0,9 = 9000$  kW. Như vậy rõ ràng là sử dụng thiết bị có lợi hơn rất nhiều.

Mặt khác nếu cần một công suất  $P$  nhất định trên đường dây một pha thì dòng điện chạy trên đường dây là :

$$I = \frac{P}{U\cos\varphi}$$

Nếu  $\cos\varphi$  lớn thì  $I$  sẽ nhỏ dẫn đến tiết diện dây nhỏ hơn, và tổn hao điện năng trên đường dây sẽ bé, điện áp rơi trên đường dây cũng giảm đi.

Trong sinh hoạt và trong công nghiệp tải thường có tính chất điện cảm nên  $\cos\varphi$  thấp. Để nâng cao  $\cos\varphi$  ta dùng tụ điện nối song song với tải (hình 2.10a).



Hình 2.10a.

Khi chưa bù (chưa có nhánh tụ điện) dòng điện trên đường dây  $I$  bằng dòng điện qua tải  $I_1$ , hệ số công suất của mạch là  $\cos\varphi_1$  của tải. Khi có bù (có nhánh tụ điện), dòng điện trên đường dây  $I$  là :

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_C$$

Từ đồ thị hình 2.10b ta thấy dòng điện  $I$  trên đường dây giảm, và  $\cos\varphi$  tăng lên :

$$I < I_1, \varphi < \varphi_1 \text{ và } \cos\varphi > \cos\varphi_1$$

Vì rằng công suất  $P$  của tải không đổi, nên công suất phản kháng của mạch là :

Lúc chưa bù chỉ có công suất  $Q_1$  của tải :

$$Q_1 = P\tan\varphi_1 \quad (2.35)$$

Lúc có bù, hệ số công suất là  $\cos\varphi$ , công suất phản kháng của mạch là :

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi.$$

Khi ấy công suất phản kháng của mạch gồm :  $Q_L$  của tải và  $Q_C$  của tụ điện :

$$\text{Do đó : } Q_L + Q_C = P \operatorname{tg} \varphi_L + Q_C = P \operatorname{tg} \varphi \quad (2.36)$$

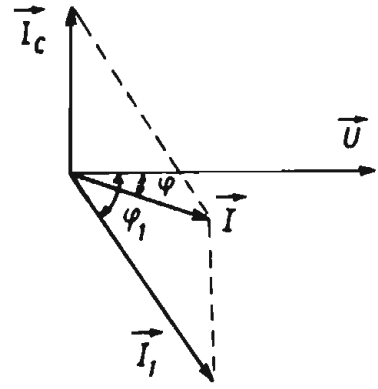
$$\text{Rút ra } Q_C = -P(\operatorname{tg} \varphi_L - \operatorname{tg} \varphi)$$

Mặt khác công suất  $Q_C$  của tụ được tính là :

$$Q_C = -U_C I_C = -U \cdot U \omega C = -U^2 \omega C. \quad (2.37)$$

Từ (2.37) và (2.36) ta tính được giá trị điện dung  $C$  cần thiết để nâng hệ số công suất mạch điện từ  $\cos \varphi_L$  lên  $\cos \varphi$  là :

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \varphi_L - \operatorname{tg} \varphi). \quad (2.38)$$



Hình 2.10b.

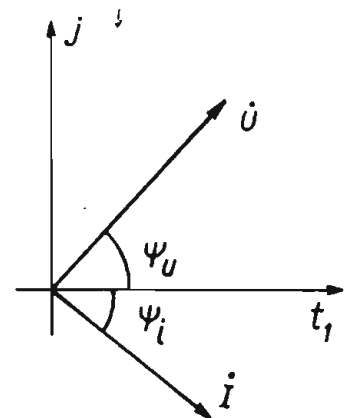
## § 2.10. BIỂU DIỄN DÒNG ĐIỆN SIN BẰNG SỐ PHỨC

Phương pháp đồ thị vectơ được ứng dụng rộng rãi khi nghiên cứu mạch điện sin. Nó giúp ta biểu diễn rõ ràng trị số hiệu dụng, góc pha, góc lệch pha, rất thuận tiện khi cần minh họa, so sánh và giải các mạch điện đơn giản. Tuy nhiên cách biểu diễn vectơ gặp nhiều khó khăn khi giải mạch điện phức tạp. Khi giải mạch điện sin ở chế độ xác lập một công cụ rất hiệu lực là biểu diễn các đại lượng sin bằng số phức.

Ở tiết §2.3 ta đã biểu diễn dòng điện sin bằng vectơ trong tọa độ vuông góc  $xOy$ .

Thay trục  $Ox$  bằng trục số thực  $+1$ , và thay trục  $Oy$  bằng trục số ảo  $+j$ , ta đã thực hiện việc biểu diễn đại lượng sin bằng số phức trong tọa độ phức (hình 2.11). Số phức biểu diễn các đại lượng sin ký hiệu bằng các chữ in hoa, có dấu chấm ở trên. Số phức có hai dạng :

Dạng số mũ  $\dot{I} = I e^{j\psi_i}$ ,  $\dot{U} = U e^{j\psi_u}$  có môđun  $I$ ,  $U$  (độ lớn) bằng trị số hiệu dụng và acgumen  $\psi_i$ ,  $\psi_u$  bằng pha đầu các đại lượng sin. Dạng mũ còn được ký hiệu  $\dot{I} = I \angle \psi_i$ ;  $\dot{U} = U \angle \psi_u$ .



Hình 2.11.

Ví dụ : Dòng điện  $i = 10\sqrt{2}\sin(\omega t - \pi/6)$  được

biểu diễn bằng số phức  $\dot{I} = 10e^{-j30^\circ}$ . Ngược lại phức số  $\dot{U} = 200e^{j60^\circ}$  biểu diễn điện áp  $u = 200\sqrt{2}\sin(\omega t + \pi/3)$ .

Dạng đại số của số phức dòng điện và điện áp là :

$$\dot{I} = I \cos \psi_i + j I \sin \psi_i = 10 \cos(-30^\circ) + j 10 \sin(-30^\circ) = 5\sqrt{3} - j5$$

$$\dot{U} = U \cos \psi_u + j U \sin \psi_u = 200 \cos 60^\circ + j 200 \sin 60^\circ = 100 + j 100\sqrt{3}$$

trong đó

$I \cos \psi_i$ ,  $U \cos \psi_u$  là phần thực của số phức

$j I \sin \psi_i$ ,  $j U \sin \psi_u$  là phần ảo của số phức

$j = \sqrt{-1}$  là đơn vị ảo (trong toán học ký hiệu đơn vị ảo là  $i$ , ở đây để không nhầm lẫn với dòng điện nên ký hiệu là  $j$ ).

### 2.10.1. Nhắc lại một số phép tính đối với số phức

#### a) Cộng, trừ

Gặp trường hợp phải cộng (trừ) các số phức, ta biến đổi chúng về dạng đại số, rồi cộng (trừ) phần thực với phần thực, phần ảo với phần ảo.

$$(4 + j3) + (5 + j6) = (4 + 5) + j(3 + 6) = 9 + j9$$

$$(4 - j3) - (5 + j6) = (4 - 5) + j(-3 - 6) = -1 - j9$$

#### b) Nhân, chia

Khi phải nhân, chia ta nên đưa về dạng mũ :

Nhân (chia) hai số phức với nhau, ta nhân (chia) môđun, còn argumen thì cộng (trừ) cho nhau.

$$5e^{j20^\circ} \cdot 2e^{j40^\circ} = 5 \cdot 2e^{j(20+40)^\circ} = 10e^{j60^\circ}$$

$$\frac{255e^{j35^\circ}}{5e^{j15^\circ}} = \frac{255}{5}e^{j(35-15)^\circ} = 51e^{j20^\circ}$$

Nhân (chia) cũng có thể thực hiện dưới dạng đại số như bình thường

$$\begin{aligned} (a + jb)(c + jd) &= ac + jbe + jad + j^2bd = \\ &= (ac - bd) + j(bc + ad), \end{aligned}$$

trong đó  $j = \sqrt{-1}$ , do đó  $j^2 = -1$ .

Khi chia ta nhân tử và mẫu số với số phức liên hợp của mẫu số

$$\frac{a + jb}{c + jd} = \frac{(a + jb)(c - jd)}{(c + jd)(c - jd)} = \frac{(ac + bd) + j(bc - ad)}{c^2 + d^2}$$

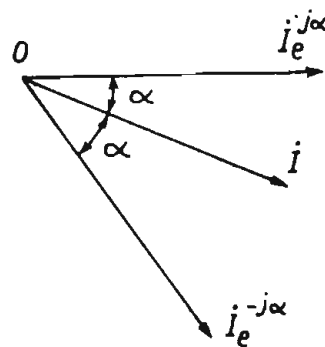
#### c) Nhân số phức với $e^{\pm j\alpha}$

$$Ae^{j\psi} \cdot e^{\pm j\alpha} = Ae^{j(\psi \pm \alpha)}$$

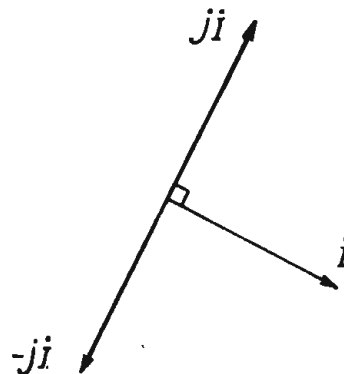
nghĩa là khi nhân một số phức với  $e^{j\alpha}$  ta quay vectơ biểu diễn số phức ấy đi một góc  $\alpha$  ngược chiều quay kim đồng hồ. Khi nhân số phức với  $e^{-j\alpha}$  ta quay vectơ biểu diễn số phức ấy một góc  $\alpha$  cùng chiều quay kim đồng hồ (hình 2.12).

#### d) Nhân số phức với $\pm j$

Theo công thức Ole



Hình 2.12.



Hình 2.13.

$$e^{j\pi/2} = \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) + j \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = j$$

$$e^{-j\pi/2} = \cos\left(-\frac{\pi}{2}\right) + j \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) = -j$$

Như vậy khi nhân một số phức với  $j$ , ta quay vectơ biểu diễn số phức đó đi một góc  $\pi/2$  ngược chiều quay kim đồng hồ. Khi nhân với  $(-j)$  ta quay đi một góc  $\pi/2$  cùng chiều quay kim đồng hồ (hình 2.13).

### 2.10.2. Biểu diễn đạo hàm $\frac{di}{dt}$

Nếu  $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$  được biểu diễn bằng dòng điện phức  $\dot{I}$  thì đạo hàm  $\frac{di}{dt} = \sqrt{2}\omega I \cos \omega t = \sqrt{2}\omega I \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$ . Về môđun  $\frac{di}{dt}$  nhân thêm lượng  $\omega$ , về góc pha vượt trước góc  $\frac{\pi}{2}$ , như vậy biểu diễn phức của đạo hàm  $\frac{di}{dt}$  là

$$\frac{di}{dt} \text{ ----> } j\omega \dot{I} \quad (2.39)$$

### 2.10.3. Biểu diễn tích phân $\int i dt$

Nếu  $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$  được biểu diễn dưới dạng phức  $\dot{I}$  thì tích phân

$$\int_0^t i dt = -\sqrt{2} \frac{I}{\omega} \cos \omega t = \sqrt{2} \frac{I}{\omega} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Về môđun  $\int_0^t i dt$  chia cho lượng  $\omega$ , về góc pha chậm sau góc  $\frac{\pi}{2}$  như vậy biểu diễn phức của

$$\int_0^t i dt \text{ ----> } \frac{\dot{I}}{j\omega} \quad (2.40)$$

Ta nhận thấy bằng cách biểu diễn số phức ta đã chuyển các biểu thức chứa đạo hàm và tích phân về các biểu thức đại số với các số phức.

### 2.10.4. Biểu diễn các định luật Kiếchốp dưới dạng phức

*Định luật Kiếchốp 1.* Từ biểu thức  $\sum i = 0$  suy ra  $\sum \dot{I} = 0$  (2.41)

*Định luật Kiếchốp 2.* Viết định luật Kiếchốp 2 cho một nhánh gồm  $R - L - C$  nối tiếp ta được :

$$u = u_R + u_L + u_C = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt$$

Dòng điện và điện áp trên các phần tử là các lượng sin cùng tần số, ta có thể biểu diễn dưới dạng phức

$$\dot{U} = R\dot{I} + j\omega L\dot{I} + \frac{\dot{I}}{j\omega C} = \left[ R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \right] \dot{I} = \bar{Z}\dot{I} \quad (2.42)$$

biểu thức  $R + j(X_L - X_C) = \bar{Z}$  gọi là tổng trở phức của mạch điện.

Trường hợp tổng quát định luật Kiếchốp 2 viết cho mạch vòng kín dưới dạng phức

$$\sum \bar{Z}\dot{I} = \sum \dot{E} \quad (2.43)$$

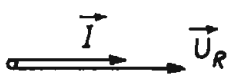
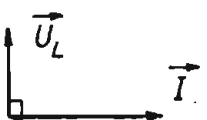
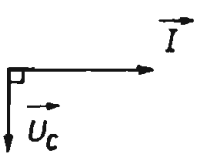
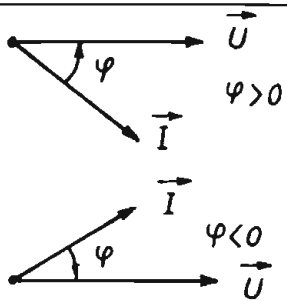
Tổng trở phức  $\bar{Z}$  có phần thực là điện trở  $R$  và phần ảo là điện kháng  $X$ .

Biểu thức nghịch đảo của tổng trở phức được gọi là tổng dẫn phức và ký hiệu bằng  $\bar{Y}$

$$\bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}} \quad (2.44)$$

Các tổng trở phức  $\bar{Z}$  và tổng dẫn phức  $\bar{Y}$  thường có thêm dấu gạch ở trên để phân biệt với môđun của chúng là  $z$  và  $y$ . Nhờ cách biểu diễn các lượng sin bằng số phức ta đã chuyển được các phương trình vi tích phân dưới dạng tức thời thành phương trình đại số với các số phức. Nhờ đó ta có thể xây dựng các phương pháp tổng quát để tính toán các mạch điện phức tạp ở chế độ xác lập sin một cách thuận tiện.

*Bảng tóm tắt chương 2*

Mạch	Quan hệ dòng áp	Đồ thị vécto	Công suất
R	$I = \frac{U}{R}, \varphi = 0$		$P_R = RI^2,$ $Q_R = 0$
L	$I_L = \frac{U}{X_L}, \varphi = \frac{\pi}{2}$ $X_L = \omega L$		$P_L = 0,$ $Q_L = X_L I^2$
C	$I_C = \frac{U}{X_C}, \varphi = -\frac{\pi}{2}$ $X_C = \frac{1}{\omega C}$		$P_C = 0,$ $Q_C = -X_C I^2$
R - L - C nối tiếp	$I = \frac{U}{z}, \varphi = \arctg \frac{X}{R}$ $z = \sqrt{R^2 + X^2}$ $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\bar{Z}}$ $\bar{Z} = R + jX$		$P = RI^2 = UI \cos \varphi$ $Q = XI^2 = UI \sin \varphi$ $S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$

## CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 2

- 1) Quan hệ dòng áp trong mạch R, L, C và R - L - C nối tiếp.
- 2) Đồ thị vectơ của mạch điện R, L, C và R - L - C nối tiếp.
- 3) Cách biểu diễn các lượng sin bằng số phức. Ưu điểm của phương pháp số phức
- 4) Các loại công suất trong mạch điện xoay chiều, ý nghĩa của các loại công suất và quan hệ giữa chúng
- 5) Ý nghĩa kinh tế kỹ thuật của hệ số công suất  $\cos\varphi$  và cách nâng cao  $\cos\varphi$ .

## BÀI TẬP CHƯƠNG 2

### Bài số 2.1.

Cuộn dây hình chữ nhật có số vòng  $N = 200$ , tiết diện  $S = 50 \text{ cm}^2$  quay với tốc độ 3000 v/phút trong từ trường đều có từ cảm  $B = 1 \text{ Tesla}$  (hình 2.14 vẽ cuộn dây ở thời điểm  $t = 0$ ). Tính tần số  $f$ , trị số hiệu dụng  $E$ , trị số cực đại  $E_m$ , trị số tức thời của sđđ cảm ứng trong cuộn dây.

*Bài giải*

Tần số góc của sđđ cảm ứng

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 3000}{60} = 314 \text{ rad/s}$$

Tần số  $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{n}{60} = \frac{3000}{60} = 50 \text{ Hz}$

Từ thông quét qua cuộn dây biến thiên theo quy luật

$$\Phi = BS\cos(\omega t + \frac{\pi}{6})$$

Sđđ cảm ứng trong cuộn dây

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{d}{dt} \left[ BS\cos(\omega t + \frac{\pi}{6}) \right] = BN\omega \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) = E_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{6})$$

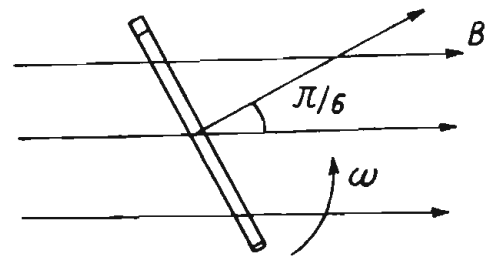
Trị số cực đại

$$E_m = NBS\omega = 200 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 10^{-4} \cdot 314 = 314 \text{ V}$$

Trị số hiệu dụng  $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{314}{\sqrt{2}} = 222,6 \text{ V}$

Trị số tức thời của sđđ cảm ứng

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_e) = 314 \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) \text{ V.}$$



Hình 2.14.

### Bài số 2.2.

Để xác định thông số của cuộn dây R và L ta tiến hành hai thí nghiệm (hình 2.15).

Khi đặt điện áp một chiều  $U = 12 \text{ V}, \quad I = 0,5 \text{ A}$

Khi đặt điện áp xoay chiều 50 Hz  $U = 220 \text{ V}, \quad I = 5 \text{ A.}$

Tìm thông số  $R$ ,  $L$  của cuộn dây

*Bài giải*

Khi đặt điện áp một chiều ta được

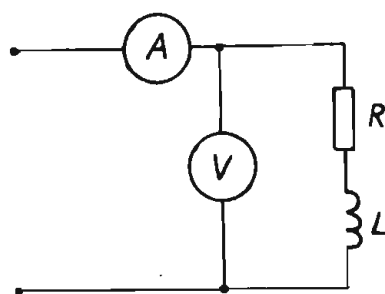
$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{0,5} = 24 \, \Omega$$

Khi đặt điện áp xoay chiều ta được

$$z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44 \, \Omega$$

$$\text{Vậy } X_L = \sqrt{z^2 - R^2} = \sqrt{44^2 - 24^2} = 36,88 \, \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{36,88}{314} = 0,117 \, \text{H}.$$



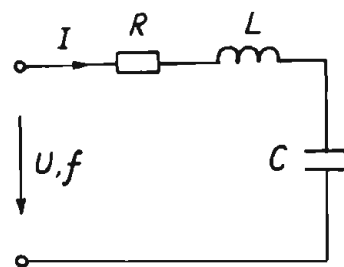
Hình 2.15.

**Bài số 2.3.**

Mạch điện  $R - L - C$  nối tiếp, nguồn  $U = 100 \, \text{V}$ , tần số  $f$  biến thiên. Cho biết  $R = 10 \, \Omega$ ,  $L = 26,5 \, \text{mH}$ ,  $C = 265 \, \mu\text{F}$  (hình 2.16a)

a) Tính dòng điện, điện áp trên các phần tử, hệ số công suất khi  $f = 50\text{Hz}$ . Vẽ đồ thị vectơ.

b) Xác định tần số  $f$  để có dòng điện cực đại. Tính điện áp trên các phần tử và công suất trong trường hợp này. Vẽ đồ thị vectơ.



Hình 2.16a.

*Bài giải*

Trước tiên ta tính cảm kháng, dung kháng và tổng trở của mạch ở tần số  $50 \, \text{Hz}$ .

$$\text{a) } X_L = \omega L = 2\pi \cdot 50 \cdot 26,5 \cdot 10^{-3} = 8,321 \, \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 265} = 12,01 \, \Omega$$

Tổng trở

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{10^2 + (8,23 - 12,01)^2} = 10,66 \, \Omega$$

$$I = \frac{U}{z} = \frac{100}{10,66} = 9,38 \, \text{A}$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{z} = \frac{10}{10,66} = 0,938$$

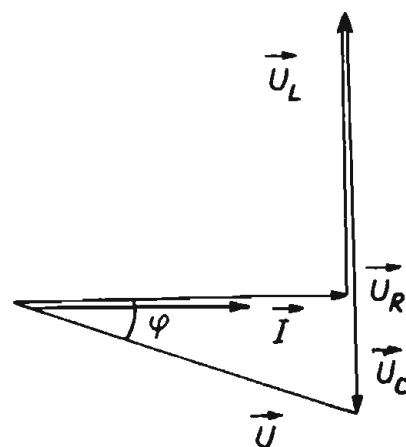
$$\text{Công suất tác dụng } P = RI^2 = 10 \cdot 9,38^2 = 879,8 \, \text{W}$$

$$\text{Có thể tính } P = UI\cos\varphi = 100 \cdot 9,38 \cdot 0,938 = 879,8 \, \text{W}$$

$$Q = (X_L - X_C)I^2 = (8,32 - 12,01) \cdot 9,38^2 = -324,67 \, \text{VAR}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI = 100 \cdot 9,38 = 938 \, \text{VA}$$

Điện áp rơi trên các phần tử



Hình 2.16b.

$$U_R = RI = 10 \cdot 9,38 = 93,8 \text{ V}$$

$$U_L = X_L I = 8,32 \cdot 9,38 = 78,04 \text{ V}$$

$$U_C = X_C I = 12,01 \cdot 9,38 = 112,6 \text{ V}$$

Đồ thị vectơ vẽ trên hình 2.16b, ta thấy mạch có tính chất điện dung.

b) Tổng trở của mạch

$$z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Để dòng điện cực đại thì tổng trở phải cực tiểu, nghĩa là

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \text{ suy ra } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} = 60 \text{ Hz}$$

$$\text{Khi đó dòng điện trong mạch là } I = \frac{U}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

$$\text{Công suất tác dụng} \quad P = RI^2 = 10 \cdot 10^2 = 1000 \text{ W}$$

$$\text{Công suất phản kháng} \quad Q = XI^2 = 0$$

$$\text{Công suất biểu kiến} \quad S = UI = P = 1000 \text{ VA}$$

Điện áp trên các phần tử

$$U_R = RI = 10 \cdot 10 = 100 \text{ V},$$

$$X_L = X_C = 2\pi \cdot 60 \cdot 26,5 \cdot 10^{-3} = 9,98 \text{ } \Omega$$

$$\text{Điện áp trên điện cảm } U_L = X_L I = 9,98 \cdot 10 = 99,8 \text{ V}$$

Điện áp trên điện dung  $U_C = U_L = 99,8 \text{ V}$ . Đồ thị vectơ trong trường hợp này vẽ trên hình 2.16c. Mạch ở trạng thái cộng hưởng điện áp. Điện áp nguồn hoàn toàn đặt trên điện trở.

**Bài số 2.4.**

Để xác định thông số của cuộn dây  $R_2, L_2$  ta dùng 1 điện trở mẫu  $R_1 = 5 \text{ } \Omega$  và vôn kế. Biết  $U_1 = 50 \text{ V}$ ,  $U_2 = 121 \text{ V}$ ,  $U = 149 \text{ V}$  (hình 2.17a).

Tính  $R_2$  và  $L_2$ .

*Bài giải*

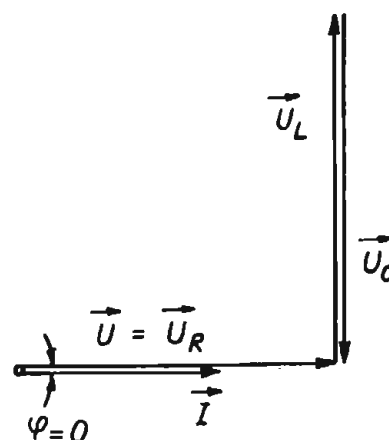
Căn cứ vào kết quả đo ta tính được

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{50}{5} = 10 \text{ A}$$

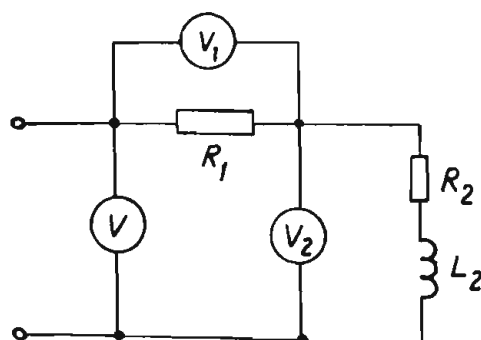
Tổng trở cuộn dây

$$z = \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2} = \frac{U_2}{I} = \frac{121}{10} = 12,1 \text{ } \Omega$$

Để xác định  $R_2$  và  $L_2$  trước hết ta vẽ đồ thị



Hình 2.16c.



Hình 2.17a.



véc tơ điện áp trên các phần tử. Trước tiên ta vẽ véc tơ dòng điện, sau đó lần lượt vẽ điện áp trên từng phần tử (hình 2.17b). Từ đồ thị véc tơ điện áp xét tam giác OAB ta có :

$$U_2^2 = U_1^2 + U^2 - 2U_1U\cos\varphi ,$$

suy ra

$$\cos\varphi = \frac{U_1^2 + U^2 - U_2^2}{2U_1U} = \frac{50^2 + 149^2 - 121^2}{2.50.149} = 0,675,$$

suy ra  $\varphi = 47^{\circ}30'$ .

Theo đồ thị véc tơ suy ra

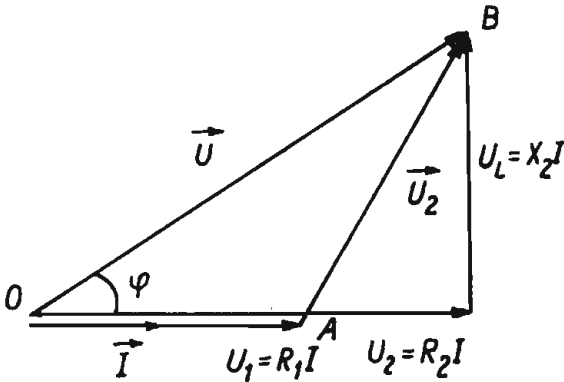
$$U\cos\varphi = R_1I + R_2I$$

$$R_2 = \frac{U\cos\varphi - R_1I}{I} = \frac{149.0,675 - 5.10}{10} = 5,06 \, \Omega$$

Từ biểu thức tổng trở cuộn dây suy ra

$$\omega L_2 = \sqrt{z^2 - R_2^2} = \sqrt{12,1^2 - 5,06^2} = 10,96 \, \Omega$$

$$L_2 = \frac{X_2}{\omega} = \frac{10,96}{314} = 34,9 \, \text{mH}.$$



Hình 2.17b.

### Bài số 2.5.

Cho mạch điện R - L - C song song (hình 2.18a).

Biết  $U = 120 \, \text{V}$ ,  $R = 40 \, \Omega$ ,  $X_L = 20 \, \Omega$ ,  $X_C = 60 \, \Omega$ . Tìm trị số tức thời của dòng điện trong các phần tử và dòng điện tổng. Bằng cách thay đổi C sao cho  $X_L = X_C$ , tính dòng điện tổng trong trường hợp này.

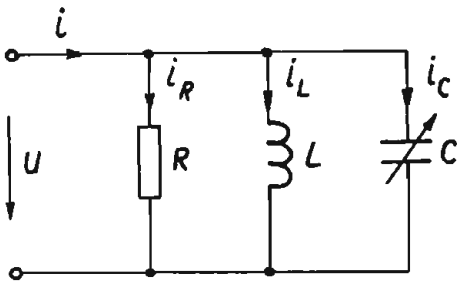
Bài giải

a) Vì điện áp U đặt lên từng nhánh ta có thể trực tiếp tính dòng điện từng nhánh

$$I_R = \frac{U}{R} = 3 \, \text{A}$$

$$I_L = \frac{U}{X_L} = 6 \, \text{A}$$

$$I_C = \frac{U}{X_C} = 2 \, \text{A}$$



Hình 2.18a.

Trị số tức thời của các dòng điện nhánh

$$i_R = \sqrt{2}I_R\sin\omega t = 3\sqrt{2}\sin\omega t$$

$$i_L = \sqrt{2}I_L \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) = \sqrt{2}6\sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$i_c = \sqrt{2}I_C \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \sqrt{2}2\sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) .$$

Để tìm dòng điện tổng  $i$  ta vẽ đồ thị vectơ các dòng nhánh

$$\vec{I} = \vec{I}_R + \vec{I}_L + \vec{I}_C$$

Từ đồ thị vectơ hình 2.18b suy ra

$$I^2 = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{3^2 + (6 - 2)^2} = 5A$$

$$\varphi = \arctg = \frac{I_L - I_C}{I_R} = \arctg \frac{4}{3} = 53^\circ 10'$$

Biểu thức của dòng điện tổng

$$i = \sqrt{2}5\sin(\omega t - 53^\circ 10') A$$

b) Khi thay đổi  $C$  sao cho  $X_C = X_L = 20 \Omega$  thì từ đồ thị vectơ hình 2.18b suy ra  $I_C = I_L = \frac{U}{X_L} = 6$

A,  $I = I_R = 3 A$ ,  $\varphi = 0$ . Trị số tức thời của dòng điện tổng là  $i = 3\sqrt{2}\sin\omega t A$ . Dòng điện sẽ nhỏ nhất, trường hợp này gọi là cộng hưởng dòng điện.

**Bài số 2.6.**

Một mạng điện có điện áp  $U = 220 V$  cung cấp cho hai tải nối song song (hình 2.19a).

Tải 1 có  $P_1 = 2112 W$ ,  $\cos\varphi_1 = 0,8$

Tải 2 có  $Q_2 = 2121 VAR$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,5$

a) Tính  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I$ , công suất tác dụng  $P$ , công suất phản kháng  $Q$ , hệ số công suất  $\cos\varphi$  của mạch.

b) Để nâng hệ số công suất của mạch bằng 0,92 cần nối song song với hai tải một bộ tụ bù. Tính điện dung  $C$  của bộ tụ bù. Tính dòng điện sau khi bù.

**Bài giải**

a) Vì  $\cos\varphi_1 = 0,8$  suy ra  $\sin\varphi_1 = 0,6$ ,  $\varphi_1 = 37^\circ$

$\cos\varphi_2 = 0,5$  suy ra  $\sin\varphi_2 = 0,866$ ,  $\varphi_2 = 60^\circ$

$$\text{Dòng điện tải 1 là } I_1 = \frac{P_1}{U\cos\varphi_1} = \frac{2112}{220 \cdot 0,8} = 12 A$$

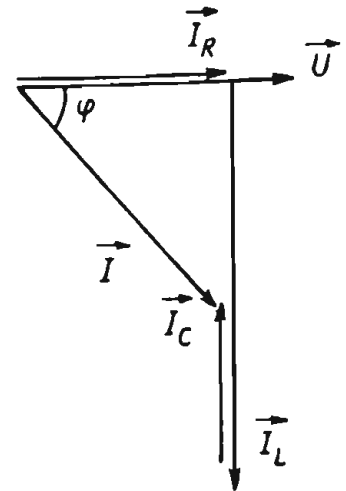
Công suất phản kháng của tải 1 là

$$Q_1 = UI_1\sin\varphi_1 = 220 \cdot 12 \cdot 0,6 = 1584 VAR$$

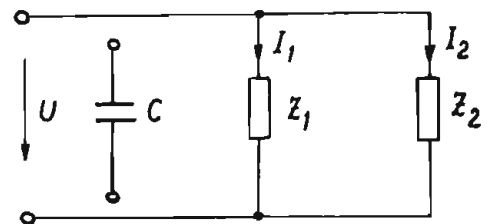
Dòng điện tải 2 là

$$I_2 = \frac{Q_2}{U\sin\varphi_2} = \frac{2121}{220 \cdot 0,866} = 11,13 A$$

Công suất tác dụng của tải 2 là



Hình 2.18b.



Hình 2.19a.

$$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi_2 = 220 \cdot 11,13 \cdot 0,5 = 1224 \text{ W}$$

Vẽ vectơ các dòng điện trên hình 2.19b. Chiếu các dòng điện lên hai trục tọa độ vuông góc ta được :

$$I_x = I_1 \cos 37^\circ + I_2 \cos 60^\circ = 12 \cdot 0,8 + 11,13 \cdot 0,5 = 15,16 \text{ A}$$

$$I_y = -I_1 \sin 37^\circ - I_2 \sin 60^\circ = -12 \cdot 0,6 - 11,13 \cdot 0,866 = -16,83 \text{ A}$$

Trị số hiệu dụng của dòng điện tổng

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} = \sqrt{15,16^2 + 16,83^2} = 22,62 \text{ A}$$

Góc lệch pha của dòng điện tổng

$$\varphi = \arctg \frac{I_y}{I_x} = \arctg \frac{16,83}{15,16} = 47^\circ 12'$$

Hệ số công suất  $\cos\varphi$  của toàn mạch là  
 $\cos 47^\circ 12' = 0,679$

Công suất tác dụng toàn mạch

$$P = P_1 + P_2 = 2112 + 1224 = 3336 \text{ W}$$

Công suất phản kháng toàn mạch

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1584 + 2121 = 3705 \text{ VAR}$$

b) Sau khi bù  $\cos\varphi_2 = 0,92$  suy ra

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,4259.$$

Vì điện áp  $U$  không đổi nên công suất  $P$  và  $Q$  của các tải không đổi. Sau khi bù công suất phản kháng  $Q'$  của mạng điện là

$$Q' = P \operatorname{tg}\varphi = 3336 \cdot 0,4259 = 1420 \text{ VAR}$$

So với trước khi bù là 3705 VAR ta thấy công suất phản kháng giảm đi một lượng bằng công suất phản kháng của tụ bù suy ra

$$Q_c = Q' - Q = 1420 - 3705 = -2285 \text{ VAR}$$

Dung kháng của tụ bù

$$X_C = -\frac{U^2}{Q_C} = \frac{220^2}{2285} = 21,18 \Omega$$

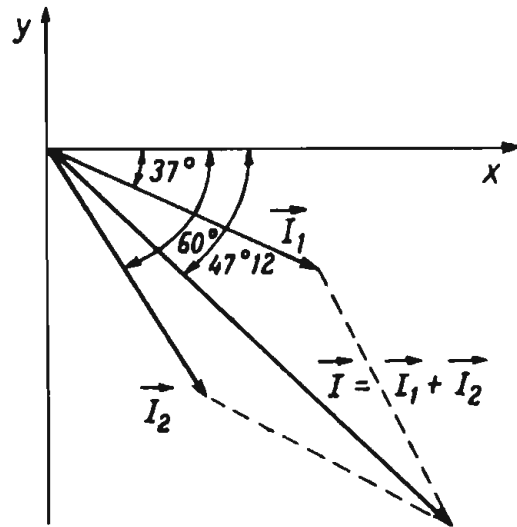
Điện dung của tụ bù

$$C = \frac{1}{\omega X_C} = \frac{1}{314 \cdot 21,18} = 150,3 \mu\text{F}$$

Dòng điện trên đường dây sau khi bù

$$I = \frac{P}{U \cos\varphi} = \frac{3336}{220 \cdot 0,92} = 16,48 \text{ A}.$$

Trước khi bù  $I = 22,62 \text{ A}$ . Ta nhận thấy dòng điện trên đường dây giảm đi kéo theo tổn hao công suất và sụt áp trên đường dây cũng giảm đi. Đó chính là lợi ích của bù  $\cos\varphi$  cho lưới điện.



Hình 2.19b.

## Bài số 2.7.

Trên một phần tử có  $\dot{U} = 220 \angle 37^\circ \text{ V}$  và  $\dot{I} = 4 \angle -23^\circ \text{ A}$

Viết biểu thức tức thời của điện áp và dòng điện. Tính các thông số sơ đồ thay thế của phần tử. Tính công suất tác dụng  $P$ , công suất phản kháng  $Q$ , công suất biểu kiến  $S$ .

*Bài giải*

Điện áp tức thời  $u = 200\sqrt{2}\sin(\omega t + 37^\circ) \text{ V}$

Dòng điện tức thời  $i = 4\sqrt{2}\sin(\omega t - 23^\circ) \text{ A}$

Tổng trở phức của phần tử

$$\bar{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{200 \angle 37^\circ}{4 \angle -23^\circ} = 50 \angle 37^\circ + 23^\circ = 50 \angle 60^\circ \Omega = (25 + j43,3) \Omega$$

Sơ đồ thay thế của phần tử gồm điện trở  $R = \text{Re}\{\bar{Z}\} = 25 \Omega$  nối tiếp với điện kháng có cảm kháng  $X_L = \text{Im}\{\bar{Z}\} = 43,3 \Omega$

Công suất tác dụng  $P = UI \cos \varphi = RI^2 = 25 \cdot 4^2 = 400 \text{ W}$

Công suất phản kháng  $Q = UI \sin \varphi = X_L I^2 = 43,3 \cdot 4^2 = 692 \text{ VAr}$

Công suất biểu kiến  $S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = 200 \cdot 4 = 800 \text{ VA}$

## Bài 2.8.

Một đèn huỳnh quang công suất  $P = 40 \text{ W}$ . Khi mắc vào nguồn  $U = 220 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$  thì dòng điện qua đèn  $I = 0,41 \text{ A}$ ,  $\cos \varphi = 0,6$ . Tính thông số của đèn và của cuộn chấn lưu. Tìm điện áp trên đèn và trên cuộn chấn lưu.

*Bài giải*

Sơ đồ nối dây của đèn huỳnh quang cho trên hình 2.20a.

Tổng trở toàn mạch (gồm cả chấn lưu và đèn) là :  $z = \frac{U}{I} = \frac{220}{0,41} = 536,6 \Omega$

Gọi điện trở đèn là  $R_1$ , điện trở chấn lưu là  $R_2$  có :  $R_1 + R_2 = z \cos \varphi = 536,6 \cdot 0,6 = 322 \Omega$

Điện trở đèn  $R_1 = \frac{P}{I^2} = \frac{40}{0,41^2} = 238,6 \Omega$

Điện trở chấn lưu  $R_2 = 322 - 238,6 = 83,4 \Omega$

Điện kháng chấn lưu

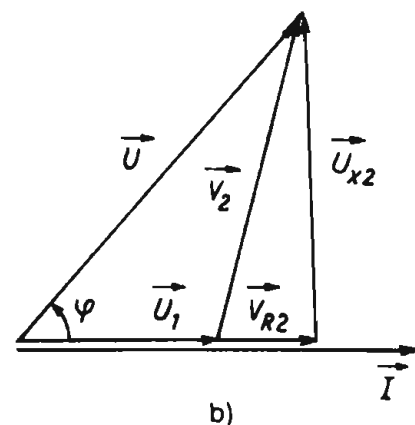
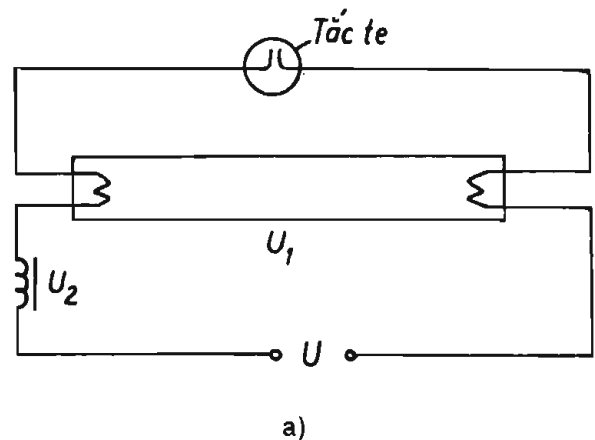
$X_2 = \sqrt{z^2 - (R_1 + R_2)^2} = \sqrt{536,6^2 - 322^2} = 430 \Omega$

Điện áp trên đèn

$U_1 = R_1 I = 238,6 \cdot 0,41 = 97,8 \text{ V}$

Điện áp trên chấn lưu

$U_2 = I \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = 0,41 \sqrt{83,4^2 + 430^2} = 179 \text{ V}$



Hình 2.20.

Đồ thị vectơ dòng điện và điện áp của đèn cho trên hình 2.20b.

## BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ CHƯƠNG 2

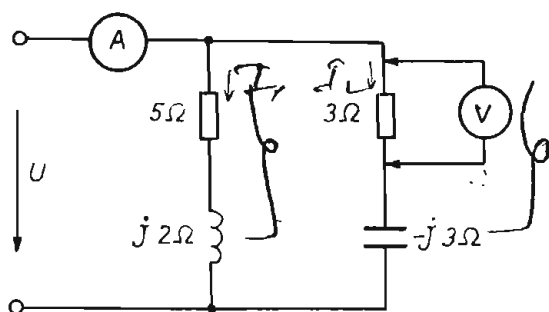
### - Bài số 2.9

Cho mạch điện song song (hình 2.21). Biết điện áp trên điện trở  $3\Omega$  là  $45V$ , tìm dòng điện qua ampe kế.

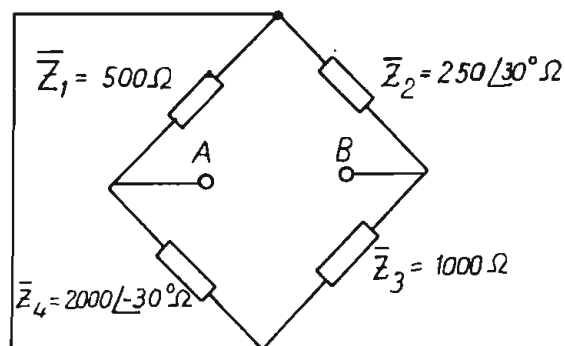
Đáp số:  $\dot{I}_2 = 15 \angle 0^\circ A$  suy ra  $\dot{U} = 63,6 \angle -45^\circ V$   
 $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 22,4 \angle -29^\circ A$

### - Bài số 2.10

Tìm tổng trở tương đương giữa 2 điểm A và B của một cầu tổng trở hình 2.22.



Hình 2.21



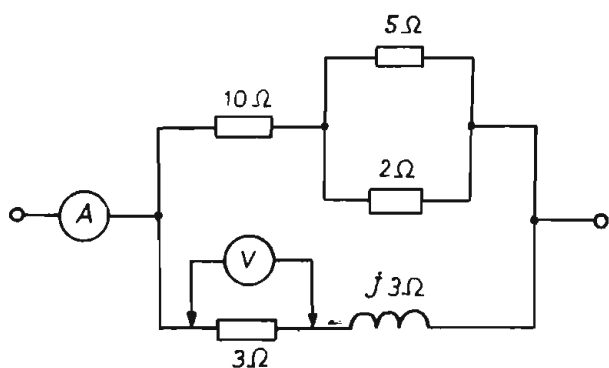
Hình 2.22

Đáp số:

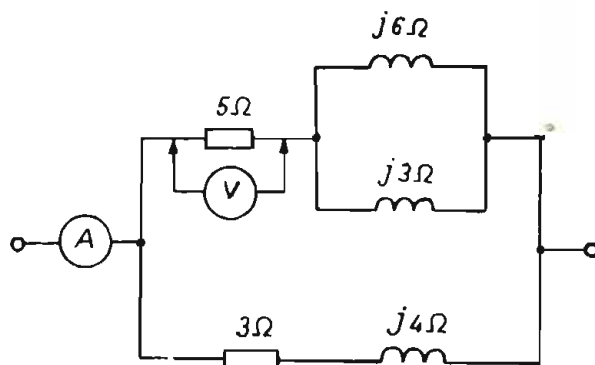
$$\bar{Z}_{td} = \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_4}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_4} + \frac{\bar{Z}_2 \bar{Z}_3}{\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3} = 596 \angle 4^\circ 05' \Omega$$

### - Bài số 2.11

Tìm chỉ số của Ampe kế hình 2.23a và 2.23b. Biết vôn kế chỉ điện áp  $U = 45V$ .



Hình 2.23a



Hình 2.23b

Đáp số:

Trên hình 2.23a  $I = 19,4A$

Trên hình 2.23b  $I = 18A$

**- Bài số 2.12**

Một nhóm động cơ không đồng bộ có tổng công suất  $P = 500 \text{ kW}$ , hệ số công suất  $\cos\varphi = 0,8$  sẽ được thay thế bằng các động cơ đồng bộ cùng hiệu suất nhưng có hệ số công suất bằng  $0,707$  (vượt trước). Khi thay thế dần dần người ta nhận thấy hệ số công suất được cải thiện. Tính phần trăm công suất động cơ đã được thay thế để hệ số công suất bằng  $0,9$  (chậm sau).

**Đáp số:** Thay thế 15% động cơ không đồng bộ bằng động cơ đồng bộ.

**- Bài số 2.13**

Xác định giá trị điện dung  $C$  để mạch hình

2.24 cộng hưởng ở tần số  $f = \frac{5000}{2\pi} \text{ Hz}$

Tìm tổng dẫn phức  $\bar{Y}$  của mạch.

**Đáp số:** Điều kiện cộng hưởng là  $\bar{Y}$  phải là số thực, suy ra  $C = 24 \mu\text{F}$ .

**- Bài số 2.14**

Mạch  $R - L - C$  nối tiếp có  $R = 50 \Omega$ ,  $L = 0,05 \text{ H}$ ,  $C = 20 \mu\text{F}$  được cung cấp bằng điện áp  $\dot{U} = 100 \angle 0^\circ \text{ V}$  có tần số biến thiên. Xác định giá trị cực đại của điện áp trên điện cảm  $U_L$  khi tần số biến thiên.

**Đáp số:**  $U_L = \omega LI = \omega LU / \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}$

Xuất phát từ điều kiện  $\frac{dU_L}{d\omega} = 0$  suy ra  $U_{L\max} = 115,5 \text{ V}$ .

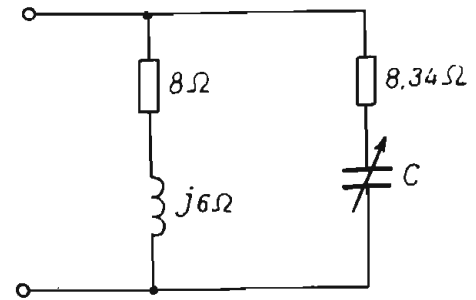
**- Bài số 2.15**

Cho mạch điện trên hình 2.25. Khi điện trở  $R_C$  biến thiên xác định biến thiên của dòng điện  $I$  và tính giá trị  $R_C$  để góc lệch pha giữa  $\dot{U}$  và  $\dot{I}$  là  $45^\circ$ .

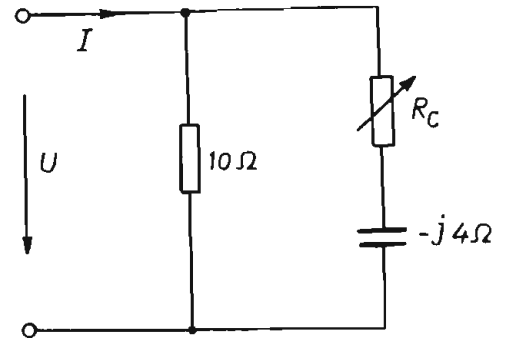
**Đáp số**  $R_C = 2 \Omega$ .

**- Bài số 2.16**

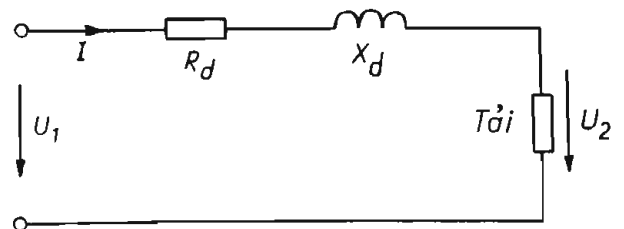
Điện năng được truyền từ máy phát đến tải qua đường dây có thông số  $R_d = 1 \Omega$ ,  $X_d = 2,5 \Omega$ . Thông số của tải  $U_2 = 220 \text{ V}$ ,  $I = 25 \text{ A}$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . (hình 2.26).



**Hình 2.24**



**Hình 2.25**



**Hình 2.26**

Tính điện áp, công suất, hệ số công suất  $\cos\varphi$ , hiệu suất  $\eta$  ở đầu đường dây trong hai trường hợp:

- Tải có tính chất điện cảm.
- Tải có tính chất điện dung.

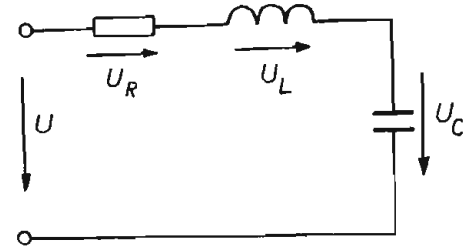
*Đáp số:*

a)  $U_1 = 280V$ ,  $\cos\varphi_1 = 0,718$ ,  $\eta = 0,876$ ,  $P_1 = 5025W$ ,  $Q_1 = 4863 \text{ VAR}$ ,  $S_1 = 7000VA$

b)  $U_1 = 213V$ ,  $\cos\varphi_1 = 0,94$ ,  $\eta = 0,876$ ,  $P_1 = 5025W$ ,  $Q_1 = 1738VAR$ ,  $S_1 = 5325VA$

**Bài số 2.17**

Cho mạch R-L-C nối tiếp (hình 2.27). Cho biết giá trị của ba điện áp. Vẽ đồ thị vectơ và xác định điện áp thứ tư và tính  $\cos\varphi$  của mạch trong các trường hợp sau:



**Hình 2.27**

- $U_R = 10V$ ,  $U_L = 20V$ ,  $U_C = 10V$ ,  $U = ?$
- $U_R = ?$ ,  $U_L = 110V$ ,  $U_C = 150V$ ,  $U = 50V$
- $U_R = 10V$ ,  $U_L = 10V$ ,  $U_C = ?$ ,  $U = 5\sqrt{5} \text{ V}$

*Đáp số:*

a)  $U = 10\sqrt{2}V$ ,  $\cos\varphi = \frac{\sqrt{2}}{2}$

b)  $U = 30V$ ,  $\cos\varphi = 0,6$

c) khi  $x_L > x_C$ ,  $U_C = 5V$ ,  $\cos\varphi = 0,89$  (điện cảm)

khi  $x_L < x_C$ ,  $U_C = 15V$ ,  $\cos\varphi = 0,89$  (điện dung)

**Bài số 2.18**

Vẽ tam giác công suất của ba tải. Tải 1 có  $S_1 = 250VA$ ,  $\cos\varphi_1 = 0,5$  (điện cảm). Tải 2 có  $P_2 = 180W$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,8$  (điện dung). Tải 3 có  $S_3 = 300VA$ ,  $Q_3 = 100VAR$  (điện cảm). Tính công suất tác dụng  $P$ , công suất phản kháng  $Q$ , công suất biểu kiến  $S$  của cả 3 tải và hệ số công suất  $\cos\varphi$  của toàn mạch.

*Đáp số:*  $P = 588W$ ,  $Q = 181 \text{ VAR}$  (điện cảm)

$S = 616 \text{ VA}$ ,  $\cos\varphi = 0,955$  (điện cảm)

### Chương 3

## CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH MẠCH ĐIỆN

Phân tích mạch điện là bài toán cho biết thông số và kết cấu của mạch điện, cần tìm dòng điện, điện áp, công suất trên các nhánh.

Người ta đã xây dựng nhiều phương pháp khác nhau để phân tích mạch điện. Việc chọn phương pháp tùy thuộc vào sơ đồ cụ thể. Trong chương này trình bày các phương pháp cơ bản để giải mạch điện.

Hai định luật Kiếchốp là cơ sở để giải mạch điện.

Khi giải mạch điện ở chế độ quá độ, các định luật viết theo giá trị tức thời của dòng điện và điện áp (công thức 1.5 ; 1.6 ; 1.9 ; 1.12 ; 1.13a ; 1.13b ; 1.15 ; 1.16). Khi nghiên cứu mạch điện sin ở chế độ xác lập, ta biểu diễn dòng điện, điện áp dưới dạng véctơ, số phức, viết các định luật Kiếchốp dưới dạng véctơ (2.15, 2.16) hoặc số phức (2.41, 2.43), đặc biệt khi cần lập hệ phương trình để giải mạch điện phức tạp, sử dụng phương pháp biểu diễn số phức. Đối với mạch dòng điện không đổi ở chế độ xác lập, ta có thể xem là một trường hợp riêng của dòng điện sin. Khi đó tần số  $\omega = 0$ , do đó nhánh có điện dung coi như hở mạch (vì  $1/\omega C = \infty$ ), và điện cảm coi như bị nối tắt (vì  $\omega L = 0$ ), mạch chỉ còn điện trở, việc giải sẽ đơn giản rất nhiều. Dưới đây ta sẽ nghiên cứu giải mạch điện sin ở chế độ xác lập.

### § 3.1. ỨNG DỤNG BIỂU DIỄN VÉCTƠ GIẢI MẠCH ĐIỆN

Đối với các mạch đơn giản, khi biết điện áp trên các nhánh, sử dụng định luật Ôm, tính dòng điện các nhánh (tính trị số hiệu dụng và góc lệch pha theo các công thức ở chương 2). Biểu diễn dòng điện, điện áp lên đồ thị véctơ. Dựa vào các định luật Kiếchốp, định luật Ôm, tính toán bằng đồ thị các đại lượng cần tìm.

*Ví dụ :* Tính dòng điện  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I$ , và điện áp  $U_{CD}$  (hình 3.1a). Cho  $U = 100V$  ;  $R_1 = 5 \Omega$  ;  $X_1 = 5 \Omega$  ;  $R_2 = 5\sqrt{3}\Omega$  ;  $X_2 = 5 \Omega$ .

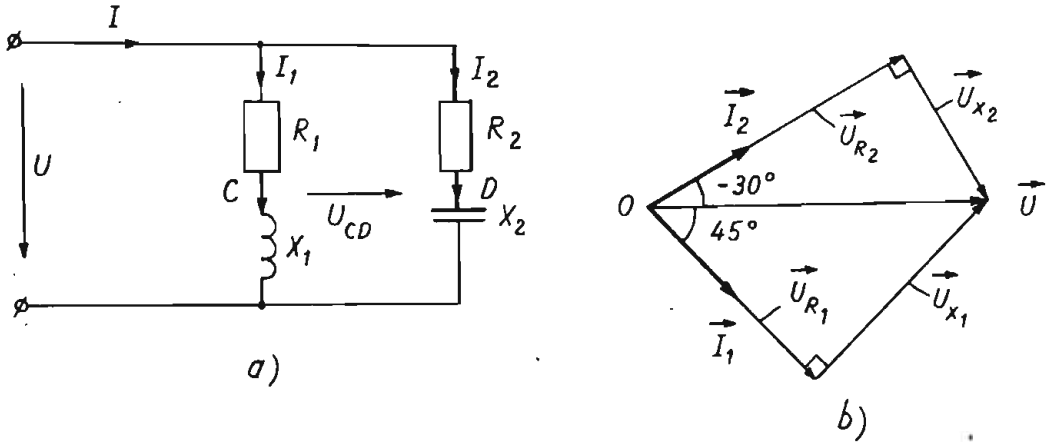
$$\text{Dòng điện } I_1 = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_1^2}} = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\text{Góc lệch pha } \varphi_1 = \arctg \frac{X_1}{R_1} = 45^\circ$$



Dòng điện  $I_2 = \frac{U}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = 10 \text{ A}$

Góc lệch pha  $\varphi_2 = \arctg \frac{-X_2}{R_2} = -30^\circ$



Hình 3.1.

Đồ thị vectơ điện áp và dòng điện  $\vec{I}_1$ trên hình 3.1b. Trước hết vẽ vectơ điện áp  $\vec{U}$  , căn cứ vào  $\varphi_1, I_1$  và  $\varphi_2, I_2$  vẽ vectơ  $\vec{I}_1, \vec{I}_2$ . Dựa vào định luật Kiếchốp 1, cộng vectơ dòng điện  $\vec{I}_1, \vec{I}_2$ , ta được vectơ  $\vec{I}$ .

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2$$

Để tính I, ta chiếu các vectơ lên hai trục Ox, Oy. Nếu chọn trục Ox trùng với điện áp  $\vec{U}$  thì :

Hình chiếu vectơ  $\vec{I}$  lên trục Ox là :

$$I_x = I_1\cos(-45^\circ) + I_2\cos(30^\circ) = 10 + 5\sqrt{3}$$

Hình chiếu trên trục Oy

$$I_y = I_1\sin(-45^\circ) + I_2\sin(30^\circ) = -10 + 5 = -5$$

Trị số hiệu dụng dòng điện I :

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} = 19,32 \text{ A}$$

Góc 
$$\psi = \arctg \frac{I_y}{I_x} = -15^\circ.$$

Để tính  $U_{CD}$ , ta vẽ vectơ điện áp các phần tử của các nhánh :

Đối với nhánh 1 :

$$\vec{U}_{R1} + \vec{U}_{L1} = \vec{U} ,$$

trong đó vectơ  $\vec{U}_{R1}$  trùng pha với  $\vec{I}$ , vectơ  $\vec{U}_{L1}$  vượt trước  $\vec{I}_1$  góc pha  $\frac{\pi}{2}$ .

Đối với nhánh 2.

$$\vec{U}_{R2} + \vec{U}_{C2} = \vec{U}$$

Véc tơ  $\vec{U}_{R2}$  trùng pha với  $\vec{I}_2$ , véc tơ  $\vec{U}_{C2}$  chậm pha so với  $\vec{I}_2$  góc pha  $\frac{\pi}{2}$ .

Điện áp 
$$\vec{U}_{CD} = \vec{U}_{L1} - \vec{U}_{C2}$$

hoặc 
$$\vec{U}_{CD} = -\vec{U}_{R1} + \vec{U}_{R2}$$

Bằng hình học tính được :

$$U_{CD} = \sqrt{U_{R1}^2 + U_{R2}^2 - 2U_{R1} \cdot U_{R2} \cos(75^\circ)} = 96,59 \text{ V.}$$

## § 3.2. ỨNG DỤNG BIỂU DIỄN SỐ PHỨC GIẢI MẠCH ĐIỆN

Số phức được ứng dụng rất thuận tiện khi cần lập hệ phương trình giải mạch điện phức tạp. Ta sẽ thấy rõ ở §3.3 ; §3.4 ; §3.5 v.v...

Tuy nhiên ngay cả đối với mạch đơn giản, bằng cách biểu diễn số phức, ta có thể tính toán giải tích mà không phải giải bằng hình học trên đồ thị.

Ta giải mạch hình 3.1a bằng biểu diễn số phức như sau :

Tổng trở phức nhánh 1 :

$$\bar{Z}_1 = R_1 + jX_{L1} = 5 + j5$$

Dòng điện phức nhánh 1 :

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\bar{Z}_1} = \frac{100}{5 + j5} = 10 - j10$$

Trị số hiệu dụng  $I_1 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A}$

Tổng trở phức nhánh 2.

$$\bar{Z}_2 = R_2 - jX_{C2} = 5\sqrt{3} - j5$$

Dòng điện phức nhánh 2.

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{\bar{Z}_2} = \frac{100}{5\sqrt{3} - j5} = 5\sqrt{3} + j5$$

Trị số hiệu dụng  $I_2$  :

$$I_2 = \sqrt{(5\sqrt{3})^2 + 5^2} = 10 \text{ A}$$

Dòng điện phức  $\dot{I}$  tính theo định luật Kiếchốp 1

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = (10 + 5\sqrt{3}) - j5$$

Trị số hiệu dụng  $I$

$$I = \sqrt{(10 + 5\sqrt{3})^2 + 5^2} = 19,32 \text{ A}$$

Điện áp phức  $\dot{U}_{CD}$  là :

$$\begin{aligned}\dot{U}_{CD} &= \dot{U}_{CA} + \dot{U}_{AD} = -R_1 \dot{I}_1 + R_2 \dot{I}_2 = \\ &= -5(10 - j10) + 5\sqrt{3}(5\sqrt{3} + j5) = 25 + j(50 + 25\sqrt{3})\end{aligned}$$

hoặc 
$$\dot{U}_{CD} = \dot{U}_{CB} + \dot{U}_{BD} = jX_{L1} \dot{I}_1 - (jX_{C2} \dot{I}_2) = 25 + j(50 + 25\sqrt{3})$$

Trị số hiệu dụng :

$$U_{CD} = \sqrt{25^2 + (50 + 25\sqrt{3})^2} = 96,59 \text{ V}$$

Dưới đây ta sẽ nghiên cứu ứng dụng số phức để thực hiện các phép biến đổi tương đương và viết hệ phương trình để giải mạch điện phức tạp.

### § 3.3. PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI TƯƠNG ĐƯƠNG

Biến đổi mạch điện nhằm mục đích đưa mạch phức tạp về dạng đơn giản hơn. Biến đổi tương đương là biến đổi mạch điện sao cho dòng điện, điện áp tại các bộ phận không bị biến đổi vẫn giữ nguyên. Dưới đây dẫn ra một số biến đổi thường gặp.

#### 3.3.1. Mắc nối tiếp

Giả thiết các tổng trở  $\bar{Z}_1, \bar{Z}_2, \bar{Z}_n$  mắc nối tiếp được biến đổi thành tổng trở tương đương  $\bar{Z}_{td}$  (hình 3.2)

Theo điều kiện biến đổi tương đương có

$$\dot{U} = \bar{Z}_{td} \dot{I} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_n = (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_n) \dot{I}$$

$$\text{suy ra } \bar{Z}_{td} = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_n = \sum \bar{Z} \quad (3.1)$$

Tổng trở tương đương của các phần tử mắc nối tiếp bằng tổng các tổng trở của các phần tử.

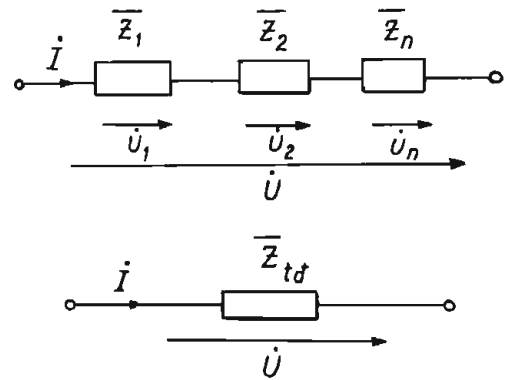
#### 3.3.2. Mắc song song

Giả thiết có n tổng trở mắc song song (hình 3.3) được biến đổi tương đương.

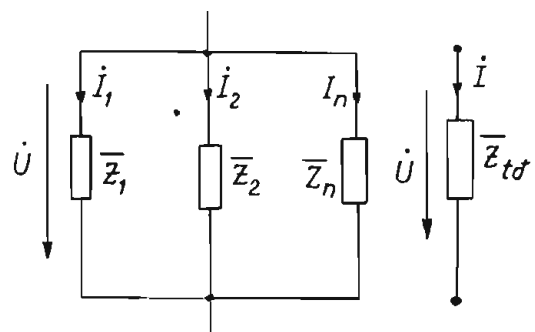
Theo định luật Kiếchốp 1 ta có :

$$\begin{aligned}\dot{I} &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_n = \dot{U} \left( \frac{1}{\bar{Z}_1} + \frac{1}{\bar{Z}_2} + \frac{1}{\bar{Z}_n} \right) = \\ &= \dot{U} (\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_n)\end{aligned}$$

$$\text{Mặt khác } \dot{I} = \frac{\dot{U}}{\bar{Z}_{td}} = \dot{U} \bar{Y}_{td}$$



Hình 3.2.



Hình 3.3.

Theo điều kiện biến đổi tương đương có :

$$\frac{1}{\bar{Z}_{td}} = \bar{Y}_{td} = \bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_n$$

Tổng quát  $\bar{Y}_{td} = \sum \bar{Y}$  (3.2)

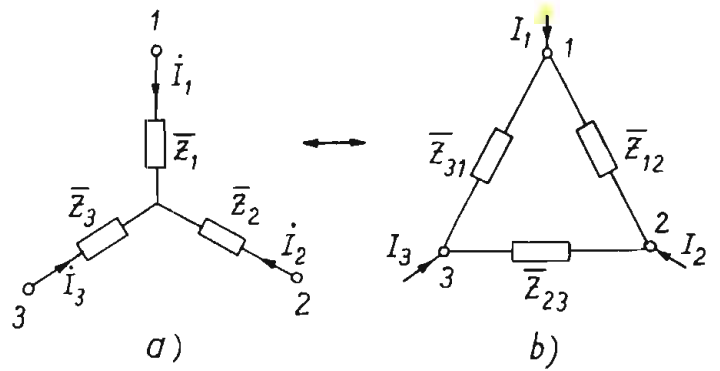
Tổng dẫn tương đương của các nhánh song song bằng tổng các tổng dẫn các phân tử. Đối với trường hợp hai nhánh mắc song song suy ra

$$\frac{1}{\bar{Z}_{td}} = \frac{1}{\bar{Z}_1} + \frac{1}{\bar{Z}_2} \quad (3.3)$$

$$\bar{Z}_{td} = \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2}$$

### 3.3.3. Biến đổi sao - tam giác

Ba tổng trở gọi là nối hình sao (hình 3.4a) nếu chúng có một đầu nối chung. Ba tổng trở gọi là nối hình tam giác nếu chúng tạo nên mạch vòng kín mà chỗ nối là nút của mạch. Ta thường cần biến đổi từ hình sao sang hình tam giác tương đương và ngược lại. Để tìm các công thức biến đổi sao tam giác ta xuất phát từ các điều kiện biến đổi tương đương.



Hình 3.4.

Cho  $\dot{I}_1 = 0$  theo hình sao có

$$\dot{U}_{23} = \dot{I}_2(\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3)$$

theo hình tam giác có

$$\dot{U}_{23} = \dot{I}_2(\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{31}) // \bar{Z}_{23}$$

suy ra

$$\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3 = \frac{(\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{31}) \bar{Z}_{23}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \quad (a)$$

Cho  $\dot{I}_2 = 0$  theo hình sao có

$$\dot{U}_{31} = \dot{I}_3(\bar{Z}_3 + \bar{Z}_1)$$

theo hình tam giác có

$$\dot{U}_{31} = \dot{I}_3(\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23}) // \bar{Z}_{31}$$

suy ra

$$\bar{Z}_3 + \bar{Z}_1 = \frac{(\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23}) \bar{Z}_{31}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \quad (b)$$

Cho  $\dot{I}_3 = 0$  theo hình sao có

$$\dot{U}_{12} = \dot{I}_1(\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)$$

theo hình tam giác có

$$\dot{U}_{12} = \dot{I}_1(\bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}) // \bar{Z}_{12}$$

suy ra

$$\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 = \frac{(\bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}) \bar{Z}_{12}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \quad (c)$$

Giải hệ phương trình (a), (b), (c) ta có các công thức sau :

Biến đổi từ tam giác sang hình sao :

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{Z_{12} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \\ Z_2 &= \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \\ Z_3 &= \frac{Z_{23} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Tổng trở của nhánh hình sao tương đương bằng tích hai tổng trở tam giác kẹp nó chia cho tổng ba tổng trở tam giác.

Nếu  $\bar{Z}_{12} = \bar{Z}_{23} = \bar{Z}_{31} = \bar{Z}$  suy ra  $\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = \frac{\bar{Z}}{3}$

Biến đổi từ hình sao sang hình tam giác

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{12} &= \bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2}{\bar{Z}_3} \\ \bar{Z}_{23} &= \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3 + \frac{\bar{Z}_2 \cdot \bar{Z}_3}{\bar{Z}_1} \\ \bar{Z}_{31} &= \bar{Z}_3 + \bar{Z}_1 + \frac{\bar{Z}_3 \cdot \bar{Z}_1}{\bar{Z}_2} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Tổng trở của nhánh tam giác tương đương bằng tổng hai tổng trở hình sao nối với nó cộng với tích của chúng chia cho tổng trở của nhánh kia.

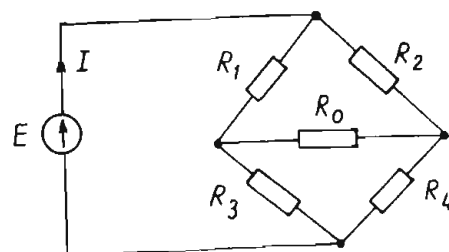
Nếu  $\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = \bar{Z}$   
suy ra  $\bar{Z}_{12} = \bar{Z}_{23} = \bar{Z}_{31} = 3\bar{Z}$ .

Ví dụ : Cho mạch cầu hình 3.5a. Tìm dòng điện qua nguồn I. Biết  $R_1 = 1 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$ ,  $R_3 = 2 \Omega$ ,  $R_4 = 4 \Omega$ ,  $R_0 = 2 \Omega$ ,  $E = 60 \text{ V}$

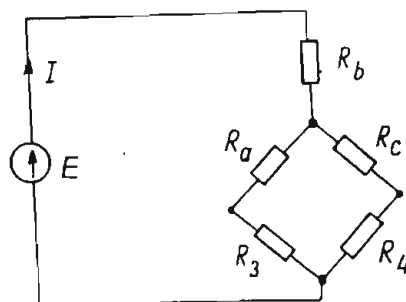
Giải

Biến đổi tam giác ( $R_1 R_2 R_0$ ) thành hình sao  $R_a R_b R_c$  có

$$R_a = \frac{R_1 \cdot R_0}{R_1 + R_2 + R_0} = \frac{1 \cdot 2}{1 + 2 + 2} = 0,25 \Omega$$



Hình 3.5a.



Hình 3.5b.

$$R_b = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_0} = \frac{1.5}{1 + 2 + 5} = 0,625 \, \Omega$$

$$R_c = \frac{R_c \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_0} = \frac{2.5}{1 + 2 + 5} = 1,25 \, \Omega$$

Mạch hình 3.5a được biến đổi thành hình 3.5b.

Điện trở tương đương toàn mạch là

$$R_{td} = R_b + \frac{(R_a + R_3)(R_c + R_4)}{R_a + R_3 + R_c + R_4} = 0,625 + \frac{(0,25 + 2)(1,25 + 4)}{0,25 + 2 + 1,25 + 4} = 2,2 \, \Omega$$

Dòng điện qua nguồn

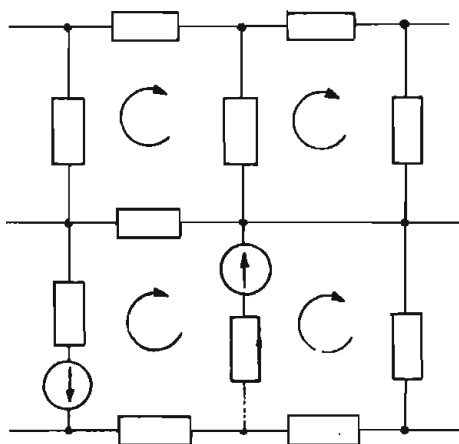
$$I = \frac{E}{R_{td}} = \frac{60}{2,2} = 27,27 \, A.$$

### § 3.4. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN NHÁNH

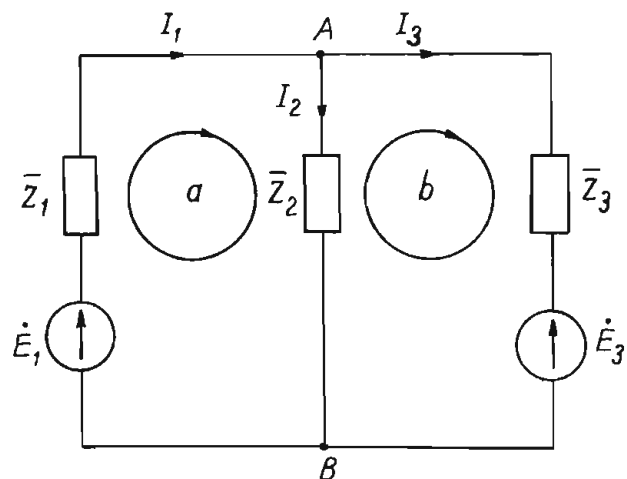
Đây là phương pháp cơ bản để giải mạch điện. Ẩn số là dòng điện nhánh. Trước hết xác định số nhánh. Tùy ý vẽ chiều dòng điện trong các nhánh. Xác định số nút và số vòng độc lập (vòng độc lập thường chọn là các mắt lưới hình 3.6).

Nếu mạch có  $m$  nhánh, số phương trình cần phải viết để giải mạch là  $m$  phương trình, trong đó :

- 1. Nếu mạch có  $n$  nút, ta viết  $(n - 1)$  phương trình Kiếchốp 1 cho  $(n - 1)$  nút. Không cần viết cho nút thứ  $n$ , vì có thể suy ra từ  $(n - 1)$  phương trình đã viết.



Hình 3.6a.



Hình 3.6b.

- 2. Số phương trình Kiếchốp 2 cần phải viết là  $m - (n - 1) = (m - n + 1)$ . Vậy phải chọn  $(m - n + 1)$  vòng độc lập, cụ thể là chọn  $(m - n + 1)$  mắt lưới, vẽ chiều đi vòng của các mắt lưới và viết phương trình Kiếchốp 2 cho  $(m - n + 1)$  mắt lưới đã chọn.

Giải hệ phương trình đã viết, ta được dòng điện các nhánh

Tóm lại thuật toán giải mạch điện theo phương pháp dòng điện nhánh như sau:

- Tùy ý chọn chiều dòng nhánh.
- Viết  $n - 1$  phương trình Kiếchốp 1 cho nút.
- Viết  $n - m + 1$  phương trình Kiếchốp 2 cho mắt lưới
- Giải hệ  $m$  phương trình tìm các dòng điện nhánh

Ví dụ : Giải mạch điện hình 3.6b theo phương pháp dòng điện nhánh. Cho  $e_1 = e_3 = 120\sqrt{2} \sin \omega t$ .

$$\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = 2 + j2 \Omega$$

Mạch có  $n = 2$  nút : A, B, và  $m = 3$  nhánh : 1, 2, 3. Số phương trình cần viết là  $m = 3$ . Trong đó số phương trình viết theo định luật Kiếchốp 1 là  $n - 1 = 2 - 1 = 1$ .

Tại nút A :  $\dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0$

Số phương trình viết theo định luật Kiếchốp 2 là :

$$m - n + 1 = 3 - 2 + 1 = 2$$

Ta có hai vòng a, b. Phương trình Kiếchốp 2 viết cho hai vòng này là :

Vòng a :  $\bar{Z}_1 \dot{I}_1 + \bar{Z}_2 \dot{I}_2 = \dot{E}_1$

Vòng b :  $-\bar{Z}_2 \dot{I}_2 + \bar{Z}_3 \dot{I}_3 = -\dot{E}_3$

Qui ước về dấu của  $\dot{I}$ ,  $\dot{E}$  đã nói ở §1.5 :

(Nếu  $\dot{I}$  và  $\dot{E}$  có chiều trùng với chiều đi vòng sẽ mang dấu dương ngược lại mang dấu âm).

Thay giá trị  $\dot{E}_1 = 100e^{j0}$  ;  $\dot{E}_3 = 100e^{j0}$  và  $\bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = 2 + j3$  vào hệ phương trình trên sau khi giải ta có :

$$\dot{I}_1 = 10 - j10$$

$$I_1 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = 20 - j20$$

$$I_2 = \sqrt{20^2 + 20^2} = 20\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\dot{I}_3 = -10 + j10$$

$$I_3 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

Dùng phương pháp dòng điện nhánh, số phương trình bằng số nhánh. Để giảm số phương trình ta có thể sử dụng phương pháp dòng điện vòng.

### § 3.5. PHƯƠNG PHÁP DÒNG ĐIỆN VÒNG

Ấn số của hệ phương trình là dòng điện vòng khép mạch trong các mắt lưới.

Ta sẽ minh họa phương pháp này bằng ví dụ hình 3.6.

Các bước giải theo phương pháp dòng điện vòng như sau :

Gọi  $m$  là số nhánh,  $n$  là số nút, vậy số vòng độc lập phải chọn là  $m - n + 1$ .

Vòng độc lập thường chọn là các mắt lưới. Ta coi rằng mỗi vòng có một dòng điện vòng chạy khép kín trong vòng ấy. Trên hình 3.7 có hai dòng điện vòng. Dòng điện chạy khép kín trong vòng a được gọi là dòng điện vòng  $\dot{I}_a$ , dòng điện chạy khép kín trong vòng b được gọi là dòng điện vòng  $\dot{I}_b$ . Các dòng điện vòng  $\dot{I}_a, \dot{I}_b$  sẽ là ẩn số trong hệ phương trình.

Vẽ chiều các dòng điện vòng  $\dot{I}_a, \dot{I}_b$ , viết hệ phương trình Kiếchốp 2 theo dòng điện vòng cho  $(m - n + 1)$  vòng.

Khi viết hệ phương trình ta vận dụng định luật Kiếchốp 2 viết cho một vòng như sau :

Tổng đại số điện áp rơi trên các tổng trở của vòng do các dòng điện vòng gây ra bằng tổng đại số các sức điện động của vòng. Trong đó các dòng điện vòng, các sức điện động có chiều trùng với chiều đi vòng lấy dấu dương, ngược lại lấy dấu âm.

Hệ phương trình Kiếchốp 2 viết theo dòng điện vòng ở hình 3.7 là :

$$\text{Vòng a : } (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2)\dot{I}_a - \bar{Z}_2\dot{I}_b = \dot{E}_1$$

$$\text{Vòng b : } (\bar{Z}_2 + \bar{Z}_3)\dot{I}_b - \bar{Z}_2\dot{I}_a = -\dot{E}_3$$

Giải hệ phương trình dòng điện vòng ta được các giá trị dòng điện vòng  $\dot{I}_a, \dot{I}_b$ .

Sau đó tính dòng điện nhánh như sau : Dòng điện của một nhánh bằng tổng đại số các dòng điện vòng qua nhánh ấy, trong đó dòng điện vòng nào có chiều trùng với chiều dòng điện nhánh sẽ lấy dấu dương, ngược lại lấy dấu âm.

Trên hình 3.7 dòng điện các nhánh là :

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_a, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_a - \dot{I}_b, \quad \dot{I}_3 = \dot{I}_b$$

Để giải mạch điện, thay giá trị  $\bar{Z}_1, \bar{Z}_2, \bar{Z}_3, \dot{E}_1, \dot{E}_2$  vào hệ phương trình (dòng, vòng) ta có :

$$(4 + j4)\dot{I}_a - (2 + j2)\dot{I}_b = 100e^{j0^\circ}$$

$$(4 + j4)\dot{I}_b - (2 + j2)\dot{I}_a = -100e^{j0^\circ}$$

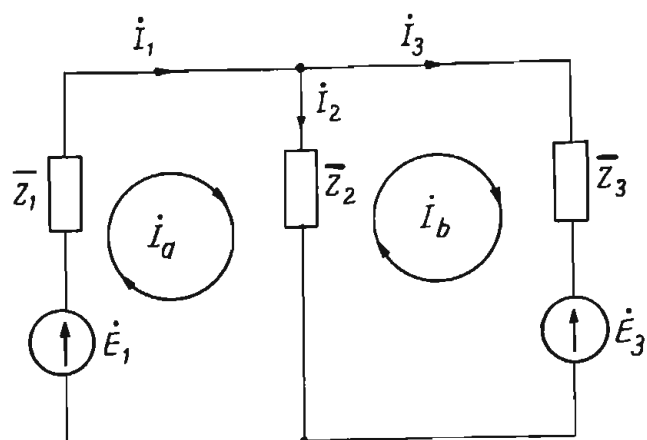
Giải hệ ta có :

$$\dot{I}_a = 10 - j10$$

$$\dot{I}_b = -10 + j10$$

Từ đó tính được dòng điện nhánh :

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_a = 10 - j10$$



Hình 3.7.



$$\dot{I}_2 = \dot{I}_a - \dot{I}_b = 20 - j20$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_b = -10 + j10$$

*Đầu vào và E theo I*

Thuật toán giải mạch điện theo phương pháp dòng điện vòng như sau :

- Tùy ý chọn chiều dòng điện nhánh và dòng điện vòng
- Lập  $m - n + 1$  phương trình dòng vòng.
- Giải hệ  $m - n + 1$  phương trình tìm các dòng điện vòng
- Từ các dòng điện vòng suy ra các dòng điện nhánh.

*đầu vào E theo vòng  
vòng theo nhánh*

### § 3.6. PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN ÁP HAI NÚT

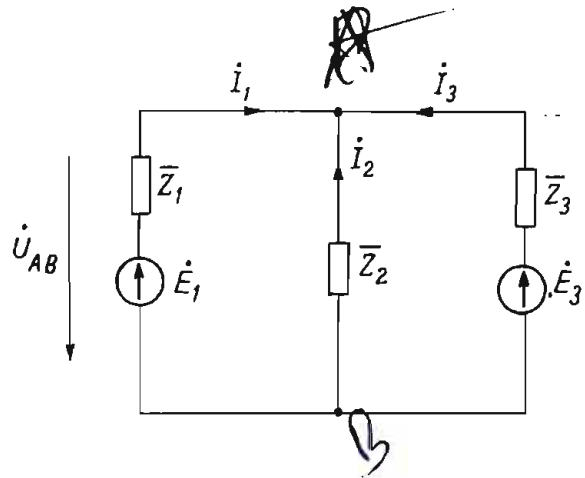
Phương pháp này dùng cho mạch điện có nhiều nhánh nối song song vào 2 nút. Trên mạch hình 3.8a giả thiết đã biết điện áp  $\dot{U}_{AB}$  ta tính ngay được dòng điện trong các nhánh

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_1} = (\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}) \bar{Y}_1$$

$$\dot{I}_2 = \frac{-\dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_2} = -\dot{U}_{AB} \bar{Y}_2$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_3} = (\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB}) \bar{Y}_3$$

Áp dụng định luật Kiechốp 1 cho nút A có



Hình 3.8a.

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = (\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}) \bar{Y}_1 - \dot{U}_{AB} \bar{Y}_2 + (\dot{E}_3 - \dot{U}_{AB}) \bar{Y}_3 = 0$$

suy ra 
$$\dot{U}_{AB} = \frac{\dot{E}_1 \bar{Y}_1 + \dot{E}_3 \bar{Y}_3}{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3}$$

Tổng quát

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\sum \dot{E}_n \bar{Y}_n}{\sum \bar{Y}_n} \quad (3.6)$$

trong đó  $\bar{Y}_n$  là tổng dẫn phức của nhánh n. Trong công thức trên, các sđđ ngược chiều với điện áp lấy dấu dương, cùng chiều điện áp lấy dấu âm. Biết  $\dot{U}_{AB}$  áp dụng định luật Ôm cho nhánh có nguồn ta tìm được dòng điện các nhánh.

Tóm lại thuật toán giải mạch điện theo phương pháp điện áp hai nút như sau:

- Tùy ý chọn chiều dòng điện nhánh và điện áp hai nút.

*đầu vào E theo U\_AB  
sức điện trở U theo I*

- Tìm điện áp hai nút theo công thức (3.6)
  - Tìm dòng điện nhánh bằng cách áp dụng định luật Ôm cho nhánh có nguồn.
- Ví dụ : Cho mạch điện hình 3.8b biết

$$E_1 = 15 \text{ V}, R_1 = 1 \Omega$$

$$E_2 = 16 \text{ V}, R_2 = 3 \Omega$$

$$E_3 = 16 \text{ V}, R_3 = 2 \Omega, R_4 = 1 \Omega$$

Tìm dòng điện trong các nhánh.

**Bài giải**

Trước hết ta giả thiết chiều dòng điện các nhánh như hình vẽ. Dùng phương pháp điện áp hai nút tính  $U_{AB}$  :

$$U_{AB} = \frac{\sum E \bar{Y}}{\sum \bar{Y}} = \frac{E_1 \frac{1}{R_1} + E_2 \frac{1}{R_2} + E_3 \frac{1}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{15 + \frac{16}{3} + \frac{16}{2}}{1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + 1} = 10 \text{ V}$$

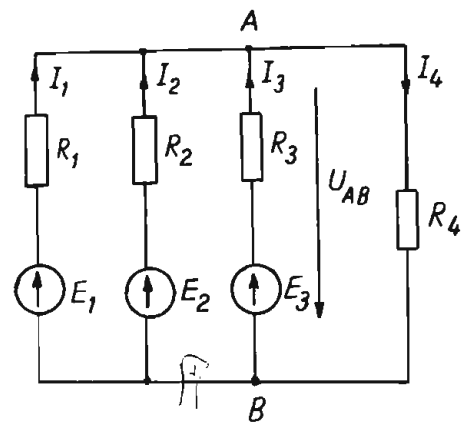
Dòng điện trong các nhánh

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1} = \frac{15 - 10}{1} = 5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{AB}}{R_2} = \frac{16 - 10}{3} = 2 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{E_3 - U_{AB}}{R_3} = \frac{16 - 10}{2} = 3 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{U_{AB}}{R_4} = \frac{10}{1} = 10 \text{ A}$$



Hình 3.8b.

Thử lại định luật Kiechốp 1 cho nút A

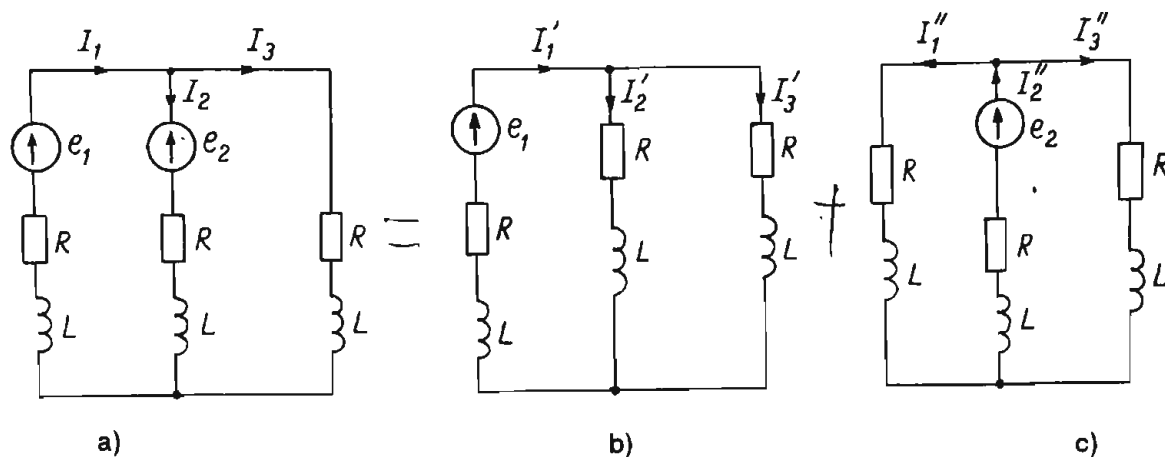
$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 5 + 2 + 3 - 10 = 0.$$

## § 3.7. PHƯƠNG PHÁP XẾP CHỒNG

Phương pháp này rút ra từ tính chất cơ bản của hệ phương trình tuyến tính : Trong mạch điện tuyến tính nhiều nguồn, dòng điện qua mỗi nhánh bằng tổng đại số các dòng điện qua nhánh do tác dụng riêng rẽ của từng sức điện động (lúc đó các sức điện động khác được coi bằng không) ; Điện áp trên mỗi nhánh cũng bằng tổng đại số các điện áp gây nên trên nhánh do tác dụng riêng rẽ từng sức điện động.

Ví dụ : Cho mạch điện hình 3.9a :  $R = 2\Omega$ ,  $L = \frac{2}{314} \text{ H}$  cần tính dòng điện trong các nhánh đối với hai trường hợp :

- a)  $e_1 = e_2 = 120\sqrt{2}\sin 314 t$ , V  
b)  $E_1 = E_2 = 60$  V dòng điện không đổi.



Hình 3.9.

Áp dụng phương pháp xếp chồng, ở đây cần giải mạch điện hình 3.9a, ta sẽ giải hai mạch 3.9b,c, trong mỗi mạch chỉ có một sức điện động tác dụng riêng rẽ và sau đó xếp chồng (cộng đại số) các kết quả của mỗi sơ đồ b và c.

a) Khi  $e_1 = e_2 = 120\sqrt{2}\sin 314 t$ .

$$\text{Cảm kháng } X_L = \omega L = 314 \frac{2}{314} = 2\Omega$$

$$\text{Tổng trở } \bar{Z}_1 = \bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = 2 + j2 \Omega$$

Giải mạch điện hình 3.9b

Dùng biến đổi tương đương :

Tổng trở tương đương hai nhánh 2 và 3 :

Vì  $\bar{Z}_2 = \bar{Z}_3 = 2 + j2$  nên

$$\bar{Z}_{td23} = \frac{2 + j2}{2} = 1 + j1 \Omega$$

$$\text{Dòng điện } \dot{I}'_1 = \frac{\dot{E}_1}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_{td23}} = \frac{120}{(2 + j2) + (1 + j1)} = 20 - j20 \text{ A}$$

$$\dot{I}'_2 + \dot{I}'_3 = \frac{\dot{I}'_1}{2} = 10 - j10 \text{ A}$$

Mạch điện 3.9c hoàn toàn giống mạch điện 3.9b vì thế không cần giải mà ta có thể suy ngay ra kết quả

$$\dot{I}''_2 = 20 - j20 \text{ A}$$

$$\dot{I}''_1 = 10 - j10 \text{ A}$$

Xếp chồng các kết quả

$$\dot{I}_1 = \dot{I}'_1 - \dot{I}''_1 = 20 - j20 - (10 - j10) = 10 - j10$$

$$I_1 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}'_3 - \dot{I}''_3 = (10 - j10) + (10 - j10) = 20 - j20$$

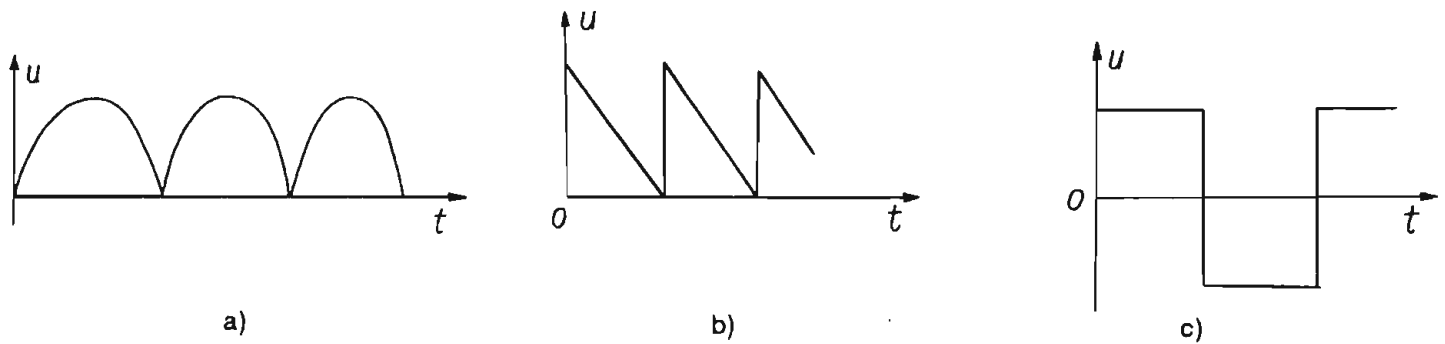
$$I_3 = \sqrt{20^2 + 20^2} = 20\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}'_2 - \dot{I}''_2 = (10 - j10) - (20 - j20) = -10 + j10$$

$$I_2 = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

### § 3.8. PHƯƠNG PHÁP TÍNH MẠCH CÓ NGUỒN CHU KỲ KHÔNG SIN

Trong kỹ thuật điện, điện tử thường gặp các nguồn chu kỳ không sin, ví dụ điện áp sau chỉnh lưu hai nửa chu kỳ (hình 3.10a), điện áp hình răng cưa (hình 3.10b), điện áp hình chữ nhật (hình 3.10c).



Hình 3.10.

Để phân tích các mạch không sin ta áp dụng nguyên lý xếp chồng. Dùng các công thức phân tích Furiê phân tích nguồn không sin thành tổng các điều hòa có tần số khác nhau

$$e(t) = E_0 + E_{1m}\sin(\omega t + \psi_1) + E_{2m}\sin(2\omega t + \psi_2) + E_{km}\sin(k\omega t + \psi_k) \quad (3.7)$$

trong đó  $E_0$  - thành phần một chiều

$E_{1m}\sin(\omega t + \psi_1)$  - thành phần cơ bản có tần số bằng tần số nguồn không sin

$E_{2m}\sin(2\omega t + \psi_2)$  - thành phần bậc hai có tần số  $2\omega$

$E_{km}\sin(k\omega t + \psi_k)$  - thành phần bậc k có tần số  $k\omega$

Như vậy bài toán mạch có nguồn chu kỳ không sin trở thành nhiều bài toán mạch xoay chiều. Đối với mỗi thành phần điều hòa ta có thể dùng các phương pháp đã nghiên cứu ở các mục trên. Lưu ý là tổng trở của các phần tử phụ thuộc vào tần số.

$$\text{Cảm kháng với điều hòa bậc } k \quad X_{Lk} = k\omega L = kX_{L1} \quad (3.8)$$

$$\text{Dung kháng với điều hòa bậc } k \quad X_{Ck} = \frac{1}{k\omega C} = \frac{X_{C1}}{k} \quad (3.9)$$

$$\text{Tổng trở với điều hòa bậc } k \quad z(k\omega) = \sqrt{R^2 + \left(k\omega L - \frac{1}{k\omega C}\right)^2} \quad (3.10)$$

$$\varphi(k\omega) = \arctg \frac{k\omega L - \frac{1}{k\omega C}}{R} \quad (3.11)$$

Thuật toán giải mạch có nguồn chu kỳ không sin như sau :

- Phân tích nguồn chu kỳ không sin thành tổng các điều hòa có tần số khác nhau
- Cho từng điều hòa tác động, tìm dòng điện, điện áp do từng điều hòa tạo nên.
- Tổng hợp kết quả.

Chú ý là vì các điều hòa có tần số khác nhau nên cần dùng biểu thức dạng tức thời

$$i = I_0 + I_{1m}\sin(\omega t + \varphi_1) + I_{2m}\sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots I_{km}\sin(k\omega t + \varphi_k) \quad (3.12)$$

Để tìm trị số hiệu dụng của dòng điện không sin ta tính

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (I_0 + i_1 + i_2 + \dots + i_k)^2 dt} \quad (3.12)$$

Khai triển biểu thức (3.12) và lấy tích phân ta được

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2} \quad (3.13)$$

Ví dụ. Nguồn không sin  $e(t) = 100 + 100\sqrt{2}\sin\omega t + 30\sqrt{2}\sin(3\omega t - 30^\circ)$  tác động vào mạch  $R = 4 \Omega$ ,  $X_{L1} = 3 \Omega$  (hình 3.11). Tìm dòng điện  $i$  và  $I$ .

*Bài giải*

Cho từng thành phần điều hòa tác động. Với thành phần một chiều có :

$$I_0 = \frac{E_0}{R} = \frac{100}{4} = 25 \text{ A}.$$

Cho thành phần bậc nhất tác động có :

$$I_1 = \frac{E_1}{z_1} = \frac{100}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = 20 \text{ A}$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{X_{L1}}{R} = \arctg \frac{3}{4} = 36^\circ 50'$$

Vậy  $i_1 = 20\sqrt{2}\sin(\omega t - 36^\circ 50') \text{ A}$ .

Cho thành phần bậc ba tác động

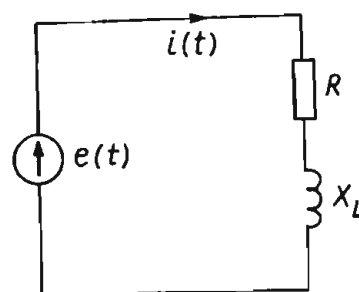
$$I_3 = \frac{E_3}{z_3} = \frac{E_3}{\sqrt{R^2 + (3X_L)^2}} = \frac{30}{\sqrt{4^2 + 9^2}} = 3,04 \text{ A}$$

$$\varphi_3 = \arctg \frac{3X_{L1}}{R} = \arctg \frac{9}{4} = 66^\circ 03'$$

Vậy  $i_3 = 3,04\sqrt{2}\sin(3\omega t - 66^\circ 03') \text{ A}$ .

Dòng điện

$$\begin{aligned} i(t) &= I_0 + i_1 + i_3 \\ &= 25 + 20\sqrt{2}\sin(\omega t - 36^\circ 50') + 3,04\sqrt{2}\sin(3\omega t - 66^\circ 03') \text{ A.} \end{aligned}$$



Hình 3.11.

Trị số hiệu dụng  $I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_3^2} = \sqrt{25^2 + 20^2 + 3,04^2} = 32,15 \text{ A}$ .

Bảng tóm tắt chương 3

Phương pháp	Ấn số	Thuật toán
Dòng điện nhánh	Dòng nhánh Số phương trình m	<ul style="list-style-type: none"> <li>- chọn chiều dòng điện nhánh tùy ý</li> <li>- lập n - 1 phương trình Kiếchốp 1</li> <li>- lập m - n + 1 phương trình Kiếchốp 2</li> <li>- giải hệ m phương trình</li> </ul>
Dòng điện vòng	Ấn số trung gian là dòng điện vòng. Số phương trình m - n + 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- chọn chiều dòng nhánh, dòng vòng tùy ý</li> <li>- lập m - n + 1 phương trình dòng điện vòng</li> <li>- tìm các dòng điện nhánh theo dòng điện vòng</li> </ul>
Điện áp hai nút	Ấn số trung gian là điện áp hai nút $U_{AB} = \frac{\sum E \bar{Y}}{\sum \bar{Y}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tùy ý chọn chiều <math>U_{AB}</math>, chiều dòng điện</li> <li>- tính <math>U_{AB}</math></li> <li>- áp dụng định luật Ôm tìm dòng điện nhánh</li> </ul>

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 3

1. Ứng dụng vectơ và số phức trong việc giải mạch điện
2. Thuật toán giải mạch điện theo phương pháp dòng điện nhánh
3. Thuật toán giải mạch điện theo phương pháp dòng điện vòng
4. Thuật toán giải mạch điện theo phương pháp điện áp hai nút
5. Thuật toán giải mạch điện có nguồn chu kỳ không sin.

BÀI TẬP CHƯƠNG 3

Bài 3.1.

Cho mạch điện hình 3.12a

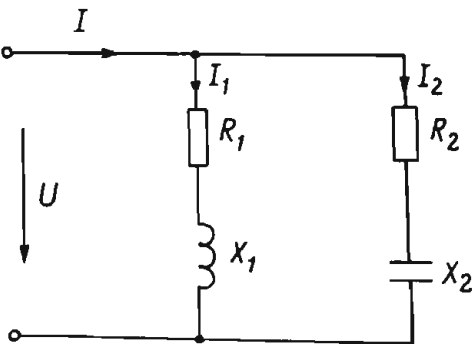
$U = 220 \text{ V}, R_1 = 10 \text{ }\Omega,$

$X_1 = 10 \text{ }\Omega, R_2 = 6 \text{ }\Omega, X_2 = 8 \text{ }\Omega$

- a) Tính dòng điện  $I_1, I_2, I$
- b) Viết biểu thức tức thời  $i_1, i_2, i$
- c) Tính  $P, Q, S, \cos\varphi$  toàn mạch.

Bài giải

Dùng phương pháp biểu diễn vectơ. Tổng trở nhánh 1 là



Hình 3.12a.

$$z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2} \, \Omega$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{X_1}{R_1} = \arctg \frac{10}{10} = 45^\circ$$

$$I_1 = \frac{U}{z_1} = \frac{220}{10\sqrt{2}} = 15,55 \, \text{A}$$

$$i_1 = \sqrt{2}I_1 \sin(\omega t - \varphi_1) = 15,55\sqrt{2} \sin(\omega t - 45^\circ) \, \text{A}$$

Với nhánh 2 ta có

$$z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \, \Omega$$

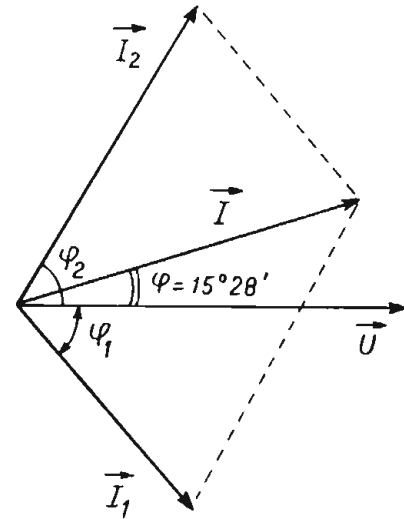
$$\varphi_2 = \arctg \frac{X_2}{R_2} = \arctg \frac{8}{6} = 53^\circ 10'$$

$$I_2 = \frac{U}{z_2} = \frac{220}{10} = 22 \, \text{A}$$

$$i_2 = \sqrt{2}I_2 \sin(\omega t + \varphi_2) = 22\sqrt{2} \sin(\omega t + 53^\circ 10') \, \text{A}$$

Để tìm dòng điện tổng  $i$  ta biểu diễn vectơ (hình 3.12b)

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2$$



Hình 3.12b.

Theo hệ thức trong tam giác thường có

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + 2I_1I_2 \cos 98^\circ 10'} = 25,08 \, \text{A}$$

Ta cũng có thể tính  $I$  bằng phép chiếu hai vectơ  $\vec{I}_1$  và  $\vec{I}_2$  lên trục  $ox$  và  $oy$ .

Hình chiếu lên trục  $ox$  là :

$$I_x = I_{1x} + I_{2x} = I_1 \cos 45^\circ + I_2 \cos 53^\circ 10' = 15,55 \cos 45^\circ + 22 \cos 53^\circ 10' = 24,19 \, \text{A}$$

Hình chiếu lên trục  $oy$  là :

$$I_y = I_{1y} + I_{2y} = -I_1 \sin 45^\circ + I_2 \sin 53^\circ 10' = -15,55 \sin 45^\circ + 22 \sin 53^\circ 10' = 6,61 \, \text{A}$$

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} = \sqrt{24,19^2 + 6,61^2} = 25,08 \, \text{A}$$

Góc pha của dòng điện tổng

$$\varphi = \arctg \frac{I_y}{I_x} = \arctg \frac{6,61}{24,19} = 15^\circ 28', \cos \varphi = 0,965$$

Trị số tức thời của dòng điện tổng

$$i = 25,08\sqrt{2} \sin(\omega t + 15^\circ 28') \, \text{A}$$

Công suất tác dụng

$$P = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = 10 \cdot 15,55^2 + 6 \cdot 22^2 = 5323 \, \text{W}$$

Có thể tính

$$P = UI \cos \varphi = 220 \cdot 25,08 \cdot 0,965 = 5323 \, \text{W}$$

Công suất phản kháng

$$Q = X_1 I_1^2 + X_2 I_2^2 = 10 \cdot 15,55^2 - 8 \cdot 22^2 = -1454 \text{ VAr}$$

Có thể tính  $Q = UI \sin \varphi = 220 \cdot 25,08 \cdot \sin(-15^\circ 28') = -1454 \text{ VAr}$

Công suất biểu kiến

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = UI = \sqrt{5323^2 + 1454^2} = 5518 \text{ VA}$$

Trong bài này nếu tính công suất biểu kiến ta tìm ngay được dòng điện tổng

$$I = \frac{S}{U} = \frac{5518}{220} = 25,08 \text{ A}.$$

### Bài số 3.2.

Giải mạch điện hình 3.12a bằng phương pháp số phức.

*Bài giải*

Chọn  $\dot{U} = U \angle 0^\circ = 220 \angle 0^\circ$

Tổng trở phức nhánh 1

$$\bar{Z}_1 = R_1 + jX_1 = 10 + j10 = 10\sqrt{2} \angle 45^\circ$$

Dòng điện phức nhánh 1

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\bar{Z}_1} = \frac{220 \angle 0^\circ}{10\sqrt{2} \angle 45^\circ} = 15,55 \angle -45^\circ \text{ A} = (11 - j11) \text{ A}$$

suy ra  $i_1 = 15,55\sqrt{2} \sin(\omega t - 45^\circ) \text{ A}$

Tổng trở phức nhánh 2

$$\bar{Z}_2 = R_2 - jX_2 = 6 - j8 = 10 \angle -53^\circ 10'$$

Dòng điện phức nhánh 2

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}}{\bar{Z}_2} = \frac{220 \angle 0^\circ}{10 \angle -53^\circ 10'} = 22 \angle +53^\circ 10' \text{ A} = (13,2 + j17,6) \text{ A}$$

suy ra  $i_2 = 22\sqrt{2} \sin(\omega t + 53^\circ 10') \text{ A}$

Dòng điện tổng

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 11 - j11 + 13,2 + j17,6 = 24,2 + j6,6 = 25,08 \angle 15^\circ 28' \text{ A}$$

suy ra  $i = 25,08\sqrt{2} \sin(\omega t + 15^\circ 28') \text{ A}.$

Công suất phức bằng tích của điện áp phức nhân với dòng điện phức liên hợp (vì góc lệch pha  $\varphi = \psi_u - \psi_i$ ),

$$\tilde{S} = \dot{U} \dot{I}^* = 220 \angle 0^\circ \cdot 25,08 \angle -15^\circ 28' = 5518 \angle -15^\circ 28' = 5323 - j1454 = P + jQ$$

suy ra  $P = \operatorname{Re}\{S\} = 5323 \text{ W}$

$$Q = \operatorname{Im}\{S\} = -1454 \text{ VAr}.$$



### Bài số 3.3.

Cho mạch xoay chiều hình 3.13 trong đó  $e_1 = 50\sqrt{2}\sin(\omega t + 45^\circ)$  V,  $e_2 = 50\sqrt{2}\sin(\omega t - 135^\circ)$  V,  $R_1 = R_2 = 8 \Omega$ ,  $R_3 = 3,125 \Omega$ ;  $\omega L = \frac{1}{\omega C} = 6 \Omega$ .  
Tìm dòng điện trong các nhánh.

#### Bài giải

Mạch điện hình 3.13 gồm ba nhánh, hai nút. Ta chọn chiều dòng điện trong các nhánh và chiều đi vòng như hình vẽ. Dùng phương pháp dòng điện nhánh để giải. Biểu diễn dạng phức của nguồn và các tải như sau :

$$\dot{E}_1 = 50 \angle 45^\circ = (35,4 + j35,4) \text{ V}$$

$$\dot{E}_2 = 50 \angle -135^\circ = (-35,4 - j35,4) \text{ V}$$

$$\bar{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = (8 + j6) \Omega$$

$$\bar{Z}_2 = R_2 - j\frac{1}{\omega C_2} = (8 - j6) \Omega$$

$$\bar{Z}_3 = R_3 = 3,125 \Omega$$

Phương trình định luật Kirchhoff 1 cho nút A

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0$$

Phương trình định luật Kirchhoff 2 cho các mắt lưới a và b

$$\bar{Z}_1 \dot{I}_1 + \bar{Z}_3 \dot{I}_3 = \dot{E}_1$$

$$-\bar{Z}_2 \dot{I}_2 - \bar{Z}_3 \dot{I}_3 = -\dot{E}_2$$

thay số ta được hệ ba phương trình

$$\begin{cases} \dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0 \\ (8 + j6)\dot{I}_1 + 3,125\dot{I}_3 = 35,4 + j35,4 \\ -(8 - j6)\dot{I}_2 - 3,125\dot{I}_3 = 35,4 + j35,4 \end{cases}$$

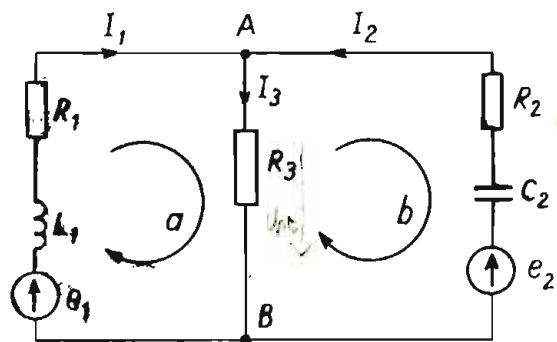
Giải bằng phương pháp định thức, trước hết ta tính

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 8 + j6 & 0 & 3,125 \\ 0 & -8 + j6 & -3,125 \end{vmatrix}$$

$$\Delta = 3,125(8 - j6) - (8 + j6)(-3,125 - 8 + j6) = 150$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 35,4 + j35,4 & 0 & 3,125 \\ 35,4 + j35,4 & -8 + j6 & -3,125 \end{vmatrix}$$

$$= (35,4 + j35,4)(-3,125 - 8 + j6)(35,4 + j35,4) 3,125 = 716,8 + j292$$



Hình 3.13.

$$+ j35,4)(-3,125 - 8 + j6)(35,4 + j35,4) \quad 3,125 = 716,8 + j292$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ -8 + j6 & 35,4 + j35,4 & 3,125 \\ 0 & 35,4 + j35,4 & -3,125 \end{vmatrix}$$

$$= -3,125(35,4 + j35,4) - 3,125(35,4 + j35,4) - (8 + j6)(34,4 + j35,4) = -292 - j716,8$$

Cuối cùng ta tìm được dòng điện phức trong các nhánh

$$\dot{I}_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{716,8 + j292}{150} = (4,78 + j1,95) \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-292 - j716,8}{150} = (-1,95 - j4,78) \text{ A}$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 4,78 + j1,95 - 1,95 - j4,78 = (2,83 - j2,83) \text{ A} .$$

Dòng điện hiệu dụng trong các nhánh :

$$I_1 = \sqrt{4,78^2 + 1,95^2} = 5,16 \text{ A}$$

$$I_2 = \sqrt{1,95^2 + 4,78^2} = 5,16 \text{ A}$$

$$I_3 = \sqrt{2,83^2 + 2,83^2} = 4 \text{ A} .$$

#### Bài số 3.4.

Giải bài số 3.3 bằng phương pháp dòng điện vòng.

*Bài giải*

Số phương trình dòng điện vòng cần lập  $m - n + 1 = 3 - 2 + 1 = 2$

Chọn chiều đi vòng như hình 3.13. Ta có hai phương trình

$$\bar{Z}_{11} \dot{I}_{V1} - \bar{Z}_{12} \dot{I}_{V2} = \dot{E}_{V1}$$

$$- \bar{Z}_{21} \dot{I}_{V1} + \bar{Z}_{22} \dot{I}_{V2} = - \dot{E}_{V2}$$

trong đó  $\bar{Z}_{11} = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_3 = 8 + j6 + 3,125 = 11,125 + j6 \ \Omega$

$$\bar{Z}_{22} = \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3 = 8 - j6 + 3,125 = 11,125 - j6 \ \Omega$$

$$\bar{Z}_{12} = \bar{Z}_{21} = \bar{Z}_3 = 3,125 \ \Omega ,$$

ta được hệ hai phương trình  $(11,125 + j6)\dot{I}_{V1} - 3,125\dot{I}_{V2} = 35,4 + j35,4$

$$- 3,125\dot{I}_{V1} + (11,125 - j6)\dot{I}_{V2} = 35,4 + j35,4$$

giải bằng phương pháp định thức suy ra :

$$\Delta = \begin{vmatrix} (11,125 + j6) & -3,125 \\ -3,125 & (11,125 - j6) \end{vmatrix} = 150$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} (35,4 + j35,4) & -3,125 \\ (+35,4 + j35,4) & (11,125 - j6) \end{vmatrix} = 716,8 + j292$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} (11,125 + j6) & (35,4 + j35,4) \\ -3,125 & (35,4 + j35,4) \end{vmatrix} = 292 + j716,8$$

Cuối cùng ta tìm được dòng điện vòng phức

$$\dot{I}_{V1} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{716,8 + j292}{150} = 4,78 + j1,95 \text{ , A}$$

$$\dot{I}_{V2} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{292 + j716,8}{150} = 1,95 + j4,78 \text{ , A}$$

Dòng điện nhánh được tìm qua dòng điện  $\dot{I}_{V1}$  và  $\dot{I}_{V2}$ .

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{V1} = 4,78 + j1,95 \text{ , A}$$

$$\dot{I}_2 = -\dot{I}_{V2} = -1,95 - j4,78 \text{ , A}$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_{V1} - \dot{I}_{V2} = 4,78 + j1,95 - j4,78 = 2,83 - j2,83 \text{ , A}$$

Kết quả này phù hợp với kết quả trong bài 3.3.

### Bài số 3.5

Giải bài số 3.4 bằng phương pháp điện áp hai nút

*Bài giải*

Đầu tiên ta tính điện áp  $\dot{U}_{AB}$

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\sum \dot{E} \bar{Y}}{\sum \bar{Y}} = \frac{\dot{E}_1 \bar{Y}_1 + \dot{E}_2 \bar{Y}_2}{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3}$$

trong đó

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{\bar{Z}_1} = \frac{1}{8 + j6} = (0,08 - j 0,06)$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{1}{\bar{Z}_2} = \frac{1}{8 - j6} = (0,08 + j 0,06)$$

$$\bar{Y}_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3,125} = 0,325$$

thay số tính được

$$\dot{U}_{AB} = \frac{(35,4 + j35,4)(0,08 - j0,06) + (-35,4 - j35,4)(0,08 + j0,06)}{0,08 - j0,06 + 0,08 + j0,06 + 0,325} = 8,83 - j8,83 \text{ V}$$

Áp dụng định luật Ôm tính dòng điện nhánh

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_1} = \frac{(35,4 + j35,4 - 8,83 + j8,83)}{8 + j6} = 4,78 + j1,95 \text{ A}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_3} = \frac{8,83 - j8,83}{3,125} = (2,83 - j2,83) \text{ A}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_2} = \frac{-35,4 - j35,4 - 8,83 + j8,83}{8 - j6} = (-1,95 - j4,78) \text{ A}$$

### Bài số 3.6.

Cho mạch hình 3.14.

Biết  $U = 230 \text{ V}$ ,  $R_1 = R_2 = 0,5 \text{ } \Omega$ ,  $R_3 = 8 \text{ } \Omega$ ,  $R_4 = 12 \text{ } \Omega$ ,  $R_5 = R_6 = 1 \text{ } \Omega$ ,  $R_7 = 2 \text{ } \Omega$ ,  $R_8 = 15 \text{ } \Omega$ ,  $R_9 = 10 \text{ } \Omega$ ,  $R_{10} = 20 \text{ } \Omega$ . Tìm dòng điện trong các nhánh

*Bài giải*

Ta giải bằng phương pháp biến đổi tương đương. Lần lượt thực hiện biến đổi nối tiếp và song song ta có :

$$R_{11} = R_9 + R_{10} = 10 + 20 = 30 \text{ } \Omega$$

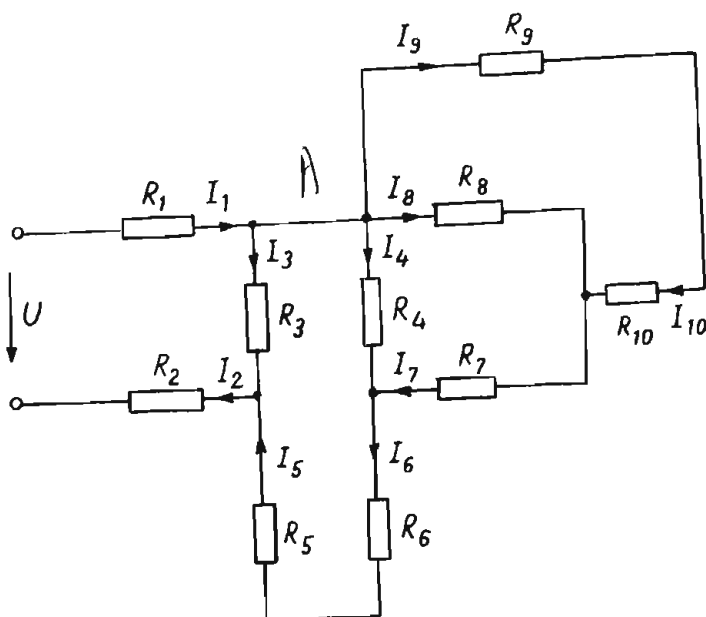
$$R_{12} = R_{11} // R_8 = \frac{15 \cdot 30}{15 + 30} = 10 \text{ } \Omega$$

$$R_{13} = R_{12} + R_7 = 10 + 2 = 12 \text{ } \Omega$$

$$R_{14} = R_{13} // R_4 = \frac{12 \cdot 12}{12 + 12} = 6 \text{ } \Omega$$

$$\begin{aligned} R_{15} &= R_{14} + R_6 + R_5 \\ &= 6 + 1 + 1 = 8 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

$$R_{16} = R_{15} // R_3 = \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 4 \text{ } \Omega$$



Hình 3.14.

Điện trở tương đương của toàn mạch

$$R_{17} = R_{16} + R_1 + R_2 = 4 + 0,5 + 0,5 = 5 \text{ } \Omega$$

$$I_1 = I_2 = \frac{U}{R_{17}} = \frac{230}{5} = 46 \text{ A}$$

$$I_3 = I_1 \cdot \frac{R_{15}}{R_{15} + R_3} = 46 \cdot \frac{8}{8 + 8} = 23 \text{ A}$$

$$I_5 = I_6 = 23 \text{ A}$$

$$I_7 = I_6 \cdot \frac{R_{13}}{R_4 + R_{13}} = 23 \cdot \frac{12}{12 + 12} = 11,5 \text{ A}$$

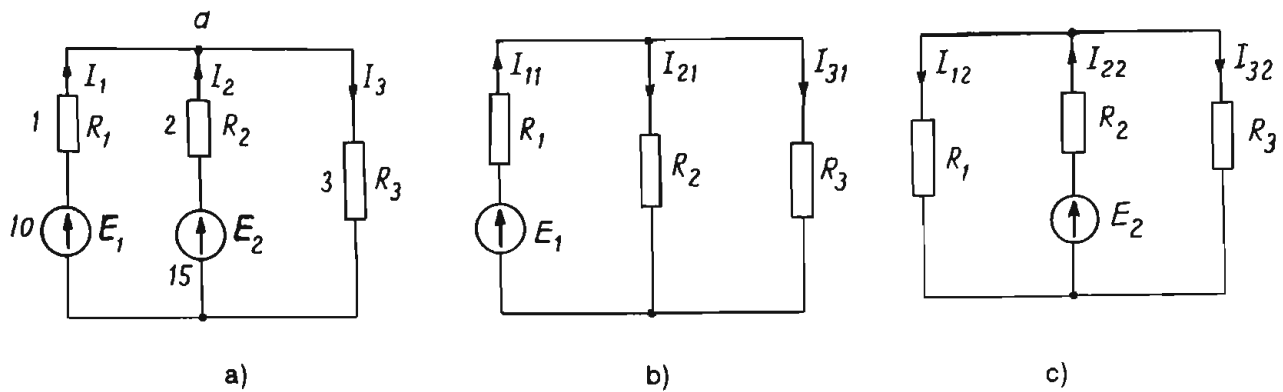
$$I_8 = I_7 \cdot \frac{R_{11}}{R_8 + R_{11}} = 11,5 \cdot \frac{30}{15 + 30} = 7,67 \text{ A}$$

$$I_9 = I_{10} = I_7 \cdot \frac{R_8}{R_8 + R_{11}} = 11,5 \cdot \frac{15}{15 + 30} = 3,83 \text{ A}$$

### Bài số 3.7.

Giải mạch hình 3.15a bằng phương pháp xếp chồng.

Cho  $E_1 = 10 \text{ V}$ ;  $E_2 = 15 \text{ V}$ ;  $R_1 = 1 \text{ } \Omega$ ;  $R_2 = 2 \text{ } \Omega$ ;  $R_3 = 3 \text{ } \Omega$ .



Hình 3.15.

### Bài giải

Trước hết cho  $E_1$  tác động (coi  $E_2 = 0$ ) ta có sơ đồ hình 3.15b. Ta tính dễ dàng bằng biến đổi tương đương.

$$I_{11} = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{10}{1 + \frac{2 \cdot 3}{2 + 3}} = 4,54 \text{ A}$$

$$I_{21} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I_{11} = \frac{3}{2 + 3} \cdot 4,54 = 2,72 \text{ A}$$

$$I_{31} = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I_{11} = \frac{2}{2 + 3} \cdot 4,54 = 1,81 \text{ A}$$

Cho  $E_2$  tác động (coi  $E_1 = 0$ ) ta có sơ đồ hình 3.15c. Bằng biến đổi tương đương tính được

$$I_{22} = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{15}{2 + \frac{1 \cdot 3}{1 + 3}} = 5,45 \text{ A}$$

$$I_{12} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} I_{22} = \frac{3}{1 + 3} \cdot 5,45 = 4,09 \text{ A}$$

$$I_{32} = \frac{R_1}{R_1 + R_3} I_{22} = \frac{1}{1 + 3} \cdot 5,45 = 1,36 \text{ A}$$

Cuối cùng tổng hợp kết quả, căn cứ vào chiều dòng điện trong các sơ đồ suy ra

$$I_1 = I_{11} - I_{12} = 4,54 - 4,09 = 0,45 \text{ A}$$

$$I_2 = I_{22} - I_{21} = 5,45 - 2,73 = 2,72 \text{ A}$$

$$I_3 = I_{31} + I_{32} = 1,81 + 1,36 = 3,17 \text{ A}$$

Thử lại định luật Kiechốp 1 cho nút a :  $-0,45 - 2,72 + 3,17 = 0$ .

### Bài số 3.8.

Một cuộn dây có điện trở  $R = 10 \Omega$ , điện cảm  $L = 35 \text{ mH}$  được đặt vào điện áp  $u = 59,6 \sin \omega t + 10,7 \sin 3\omega t - 1,97 \sin 7\omega t \text{ V}$ ,  $\omega = 314 \text{ rad/s}$  (hình 3.16).

- a) Tìm biểu thức dòng điện trong mạch  
b) Xác định hệ số công suất của mạch.

*Bài giải*

- a) Cho điều hòa cơ bản tác động. Tính tổng trở với tần số  $\omega$

$$\bar{Z}_1 = R_1 + j\omega L = 10 + j314 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 14,87 \angle 47^\circ 45' \Omega$$

Dòng điện do thành phần cơ bản gây ra

$$\dot{I}_{1m} = \frac{\dot{U}_{1m}}{\bar{Z}_1} = \frac{59,6 \angle 0^\circ}{14,87 \angle 47^\circ 45'} = 4,01 \angle -47^\circ 45' \text{ A}$$

Trị số tức thời  $i_1 = 4,01 \sin(\omega t - 47^\circ 45') \text{ A}$

Cho thành phần bậc 3 tác động. Tổng trở đối với tần số  $3\omega$  là :

$$\bar{Z}_3 = R = j3\omega L = 10 + j3 \cdot 314 \cdot 35 \cdot 10^{-2} = 34,57 \angle 73^\circ 10' \Omega$$

Dòng điện do thành phần bậc 3 gây ra

$$\dot{I}_{3m} = \frac{\dot{U}_{3m}}{\bar{Z}_3} = \frac{10,7 \angle 0^\circ}{34,57 \angle 73^\circ 10'} = 0,31 \angle -73^\circ 10' \text{ A}$$

$$i_3 = 0,32 \sin(3\omega t - 73^\circ 10') \text{ A}$$

Cho thành phần bậc 7 tác động. Tổng trở với tần số  $7\omega$  là :

$$\bar{Z}_7 = R + j7\omega L = 10 + j7 \cdot 314 \cdot 35 \cdot 10^{-2} = 77,6 \angle 82^\circ 35' \Omega$$

Dòng điện do thành phần bậc 7 gây ra

$$\dot{I}_{7m} = \frac{\dot{U}_{7m}}{\bar{Z}_7} = \frac{1,97 \angle 0^\circ}{77,6 \angle 82^\circ 35'} = 0,025 \angle -82^\circ 35'$$

- b) Hệ số công suất  $\cos \varphi = \frac{P}{UI}$

trong đó 
$$U = \sqrt{U_1^2 + U_3^2 + U_7^2} = \sqrt{\frac{59,6^2 + 10,7^2 + 1,97^2}{2}} = 42 \text{ V}$$

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_7^2} = \sqrt{\frac{4,01^2 + 0,31^2 + 0,025^2}{2}} = 2,36 \text{ A}$$

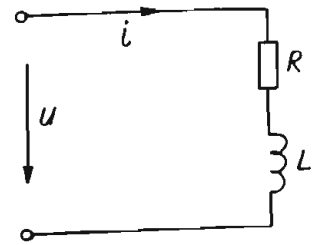
$$P = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 + U_7 I_7 \cos \varphi_7 = RI^2 = 10 \cdot 2,36^2 = 82 \text{ W}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} = 0,68.$$

### Bài số 3.9.

Oát kế kiểu điện động (hình 3.17) được chế tạo để đo công suất ở tần số 50 Hz. Hỏi Oát kế sẽ chỉ trị số bao nhiêu nếu nguồn có tần số bậc 1,  $U_1 = 100 \text{ V}$  và tần số bậc 3,  $U_3 = 20 \text{ V}$ ,  $\varphi_1 = \varphi_3 = 0^\circ$ .

Tải có thông số  $R = 10 \Omega$ ,  $L = 30 \text{ mH}$ .



Hình 3.16.

### Bài giải

Đây là bài toán có nguồn không sin. Dùng nguyên lý xếp chồng cho điều hòa bậc 1 tác động có

$$\begin{aligned}\bar{Z}_1 &= R + j\omega L = 10 + j314 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \\ &= 10 + j9,42 = 13,77 \angle 43^\circ 29' \Omega\end{aligned}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{\bar{Z}_1} = \frac{100 \angle 0^\circ}{13,77 \angle 43^\circ 29'} = 7,28 \angle -43^\circ 29' \text{ A}$$

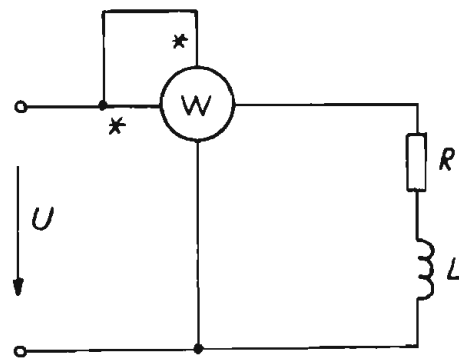
Cho điều hòa bậc 3 tác động

$$\bar{Z}_3 = R + j3\omega L = 10 + j3 \cdot 9,42 = 10 + j28,26 = 29,97 \angle 70^\circ 51' \Omega$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_3}{\bar{Z}_3} = \frac{20 \angle 0^\circ}{29,97 \angle 70^\circ 51'} = 0,67 \angle -70^\circ 51' \text{ A}$$

Dòng điện hiệu dụng  $I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2} = \sqrt{7,28^2 + 0,67^2} = 7,32 \text{ A}$ .

Chỉ số của Oát kế là  $P = RI^2 = 10 \cdot 7,32^2 = 535,8 \text{ W}$ .



Hình 3.17.

### Bài số 3.10.

Hai cuộn dây có liên hệ hồ cảm với nhau (hình 3.18). Biết

$R_1 = 4 \Omega$ ,  $X_1 = 3 \Omega$ ,  $U = 100 \text{ V}$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ,  $X_2 = 8 \Omega$ , tổng trở hồ cảm  $\omega M = 2 \Omega$ . Tìm dòng điện.

### Bài giải

Trong sơ đồ hình 3.18 ta đánh dấu cực tính của hai cuộn dây bằng dấu (\*), đó là các cực cùng tính, khi dòng điện có chiều giống nhau với cực đó thì từ thông tự cảm và hồ cảm cùng chiều. Khi viết biểu thức định luật Kiếchốp 2 ngoài các điện áp rơi trên điện trở và điện cảm còn phải kể tới điện áp hồ cảm. Vì hai cuộn mắc nối tiếp nên có cùng dòng điện chạy qua.

Điện áp trên cuộn 1

$$\dot{U}_1 = \dot{I}R_1 + j\dot{I}X_1 + j\dot{I}X_M$$

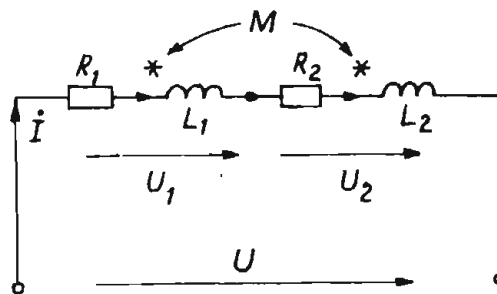
Điện áp trên cuộn 2

$$\dot{U}_2 = \dot{I}R_2 + j\dot{I}X_2 + j\dot{I}X_M$$

$$\text{Vậy } \dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = (R_1 + jX_1 + R_2 + jX_2 + 2jX_M)\dot{I}$$

suy ra

$$I = \frac{\dot{U}}{R_1 + R_2 + j(X_1 + X_2 + 2X_M)} = \frac{100 \angle 0^\circ}{10 + j(3 + 8 + 2)} = \frac{100 \angle 0^\circ}{16,4 \angle 52^\circ 43'} = 6,1 \angle -52^\circ 43' \text{ A}$$



Hình 3.18.

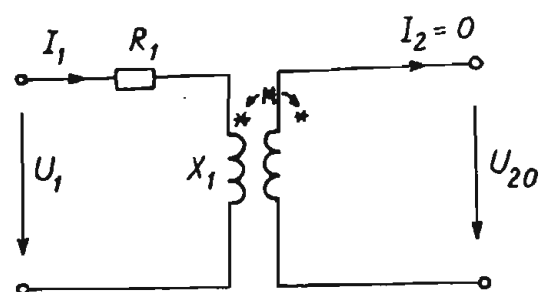
Ta nhận thấy trong biểu thức của mẫu số có  $2X_M$  vì có mật điện áp hồ cảm ở cuộn 2 do dòng điện  $I_1$  sinh ra, đồng thời cũng có điện áp hồ cảm ở cuộn 1 do dòng điện  $I_2$  sinh ra.

### Bài số 3.11.

Sơ đồ của một máy biến áp không tải vẽ trên hình 3.19. Biết  $U = 100 \text{ V}$ ,  $R_1 = 60 \Omega$ ,  $X_1 = 80 \Omega$ ,  $\omega M = 20 \Omega$ . Tính điện áp thứ cấp khi không tải  $U_{20}$ .

#### Bài giải

Dòng điện sơ cấp của máy biến áp khi không tải



Hình 3.19.

$$I_1 = \frac{U}{z_1} = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_1^2}} = \frac{100}{\sqrt{60^2 + 80^2}} = 1 \text{ A}$$

Điện áp thứ cấp khi không tải là điện áp hồ cảm do dòng điện  $I_1$  sinh ra, về độ lớn

$$U_{20} = \omega M I_1 = 20 \cdot 1 = 20 \text{ V}.$$

### Bài số 3.12.

Mạch vào của bộ khuếch đại tranzito gồm mạch vòng  $R - L - C$  có liên hệ hồ cảm với dòng điện trong anten  $I_a$  (hình 3.20). Biết mạch ở trình trạng cộng hưởng. Tìm điện áp bazơ - êmitơ của tranzito. Cho  $I_a = 1 \cdot 10^{-3} \text{ mA}$ ,  $R = 100 \Omega$ ,  $\omega M = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $\frac{1}{\omega C} = 1 \text{ k}\Omega$ .

#### Bài giải

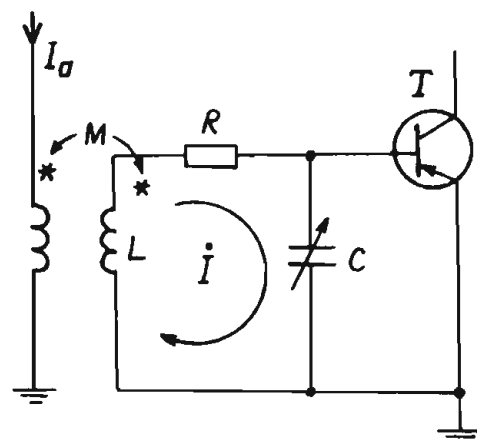
Viết phương trình định luật Kiếchốp 2 cho mạch vòng có :

$$RI - j \frac{1}{\omega C} I + j\omega LI - j\omega M I_a = 0$$

Vì mạch ở tình trạng cộng hưởng suy ra

$$j\omega L - \frac{1}{j\omega C} = 0, \text{ từ đó tìm được dòng điện}$$

$$I = j \frac{\omega M}{R} I_a$$



Hình 3.20.

Điện áp bazơ - êmitơ của tranzito T là điện áp trên tụ  $U_c$

$$U_c = - \frac{j}{\omega C} I = \frac{\omega M}{\omega C R} I_a$$

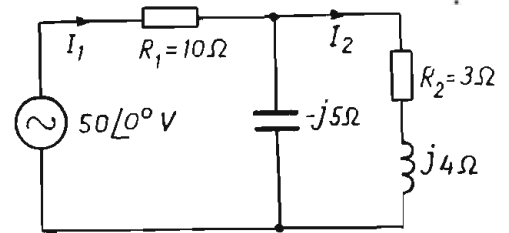
$$\text{thay số có } U_c = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{100} 10^{-3} = 20 \text{ mV}.$$



## BÀI TẬP CHƯƠNG 3

### - Bài số 3.12

Cho mạch hình 3.21. Xác định dòng  $\dot{I}_1$ ,  $\dot{I}_2$  và công suất tác dụng của nguồn và công suất tiêu tán trên các điện trở.



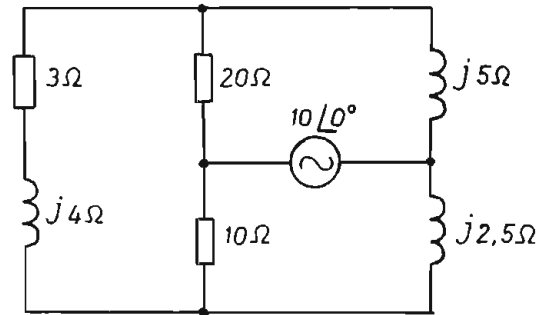
Hình 3.21

Đáp số:  $\dot{I}_1 = 2,83/8,14^\circ \text{A}$ ,  $\dot{I}_2 = 4,47/-63^\circ \text{A}$   
 $P = 140 \text{W}$   
 $P_1 = 80 \text{W}$ ,  $P_2 = 60 \text{W}$

### - Bài số 3.13

Cho mạch điện hình 3.32 hãy xác định dòng điện qua tổng trở  $(3 + j4)\Omega$ .

Đáp số: 0



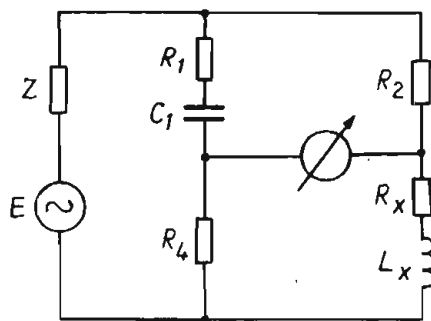
Hình 3.22

### - Bài số 3.14

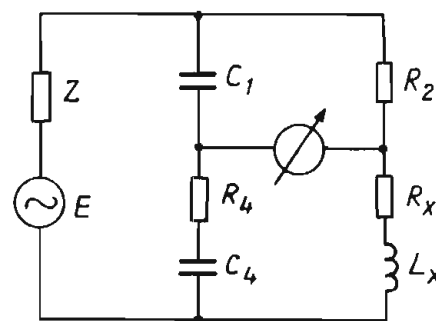
Hình 3.23 là sơ đồ cầu Hay. Tìm  $R_x$  và  $L_x$  theo các thông số của cầu để cầu cân bằng.

Đáp số  $R_x = \frac{\omega^2 C_1^2 R_1 R_2 R_4}{1 + (\omega R_1 C_1)^2}$ ,  $L_x = \frac{C_1 R_2 R_4}{1 + (\omega R_1 C_1)^2}$

### - Bài số 3.15



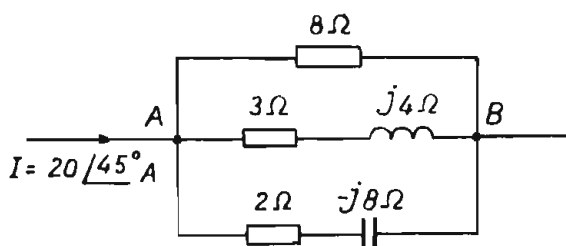
Hình 3.23



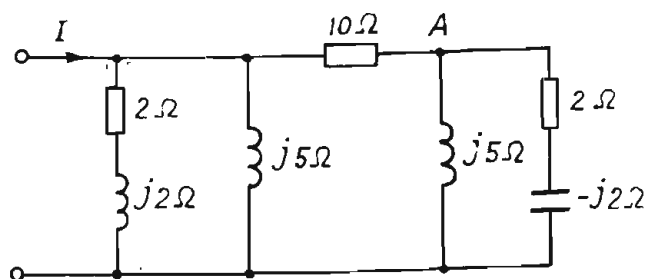
Hình 3.24

Hình 3.24 là sơ đồ cầu Owen. Tìm  $R_x$  và  $L_x$  theo các thông số của cầu để cầu cân bằng.

Đáp số  $R_x = \frac{C_1}{C_4} R_2$ ,  $L_x = \frac{R_2}{R_1} L_4$



Hình 3.25



Hình 3.26

- Bài số 3.16

Tính điện áp  $\dot{U}_{AB}$  của sơ đồ hình 3.25

Đáp số:  $72,2 / 53,8^\circ \text{V}$

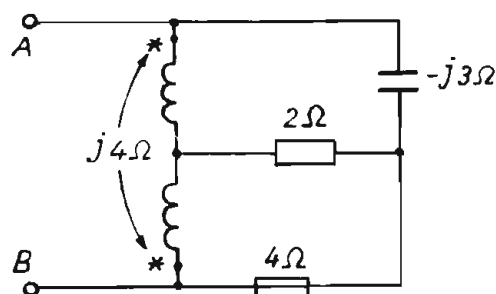
- Bài số 3.17

Xác định dòng điện  $\dot{I}$  của sơ đồ hình 3.26 để điện áp  $\dot{U}_{AB}$  bằng  $5 / 30^\circ \text{V}$

Đáp số:  $9,72 / -16^\circ \text{A}$

- Bài số 3.18

Tính tổng trở tương đương của mạch có hồ cảm trên hình 3.27 khi nhìn từ hai cực A và B.



Hình 3.27

Đáp số:  $(6,22 + j4,65) \Omega$

- Bài số 3.19

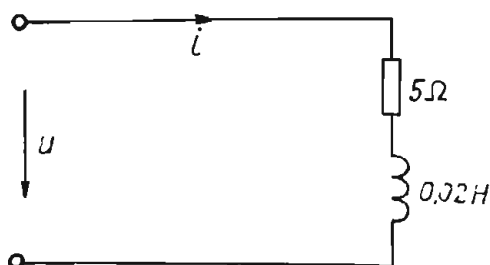
Mạch R - L nối tiếp có  $R = 5\Omega$ ,  $L = 0,02\text{H}$  được cung cấp bằng nguồn không sin (hình 3.28)  $u = 100 + 50 \sin \omega t + 25 \sin 3\omega t$ ,  $\omega = 500 \text{ rad/s}$ .

Tính dòng điện và công suất mạch tiêu thụ.

Đáp số:  $i = 20 + 4,48 \sin(\omega t - 0,35\pi) + 0,823 \sin(3\omega t - 0,447\pi) \text{A}$

$$I = 20,25 \text{A}$$

$$P = 2053 \text{W}$$



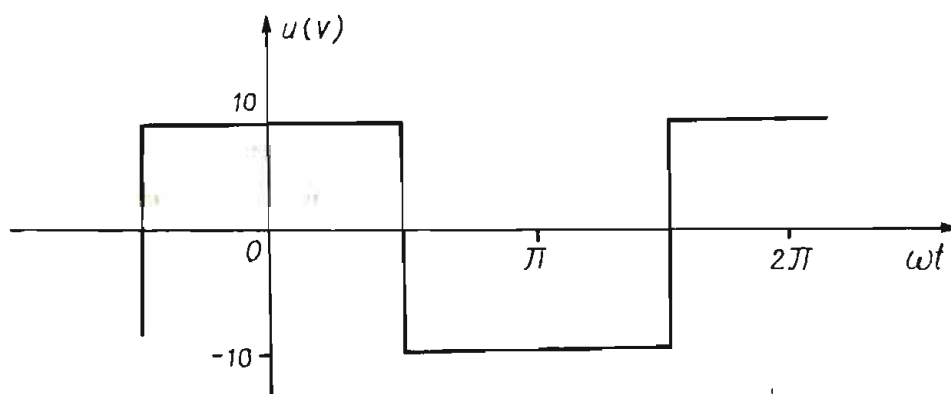
Hình 3.28

**- Bài số 3.20**

Đặt điện áp hình chữ nhật (hình 3.29) vào mạch thuần cảm  $L = 0,01\text{H}$ . Tìm dòng điện trong mạch, biết tần số  $\omega = 200 \text{ rad/s}$ .

**Đáp, số:** Phân tích Furiê điện áp nguồn rồi tìm từng thành phần điều hòa dòng điện.

$$i = \frac{20}{\pi} \left( \sin\omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \frac{1}{49} \sin 7\omega t + \dots \right)$$



**Hình 3.29**

## Chương 4

# MẠCH ĐIỆN BA PHA

### § 4.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Ngày nay điện năng sử dụng trong công nghiệp dưới dạng dòng điện sin ba pha. Vì rằng động cơ điện ba pha có cấu tạo đơn giản và đặc tính tốt hơn động cơ một pha, việc truyền tải điện năng bằng mạch điện ba pha tiết kiệm được dây dẫn hơn việc truyền tải điện năng bằng dòng điện một pha.

Mạch điện ba pha bao gồm nguồn điện ba pha, đường dây truyền tải và các phụ tải ba pha.

Để tạo ra nguồn điện ba pha, ta dùng máy phát điện đồng bộ ba pha (sẽ trình bày chi tiết ở phần II giáo trình này). Cấu tạo của máy phát điện đồng bộ gồm :

Phần tĩnh (còn gọi là stato) gồm có lõi thép xẻ rãnh, trong các rãnh đặt ba

dây quấn AX, BY, CZ có cùng số vòng dây và lệch nhau

một góc  $\frac{2\pi}{3}$  trong không gian. Mỗi dây quấn được gọi là

một pha. Dây quấn AX gọi là pha A, dây quấn BY gọi là pha B, dây quấn CZ là pha C.

Phần quay (còn gọi là rôto) là nam châm điện N - S (hình 4.1).

Nguyên lý làm việc như sau : Khi quay rôto, từ trường sẽ lần lượt quét các dây quấn stato, và cảm ứng vào trong dây cuốn stato các sức điện động sin cùng biên độ, cùng tần số và lệch pha nhau một góc  $\frac{2\pi}{3}$ .

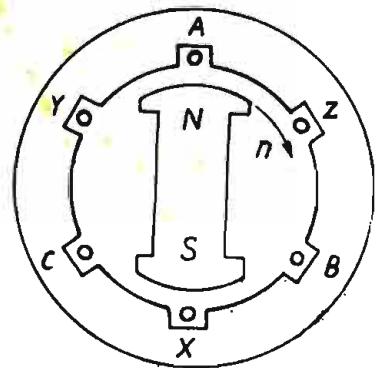
Nếu chọn pha đầu của sức điện động  $e_A$  của dây quấn AX bằng không, thì biểu thức tức thời sức điện động ba pha là :

Sức điện động pha A :

$$e_A = \sqrt{2} E \sin \omega t \quad (4.1a)$$

Sức điện động pha B :

$$e_B = \sqrt{2} E \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (4.1b)$$



Hình 4.1.

Sức điện động pha C :

$$e_C = \sqrt{2} E \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) = \sqrt{2} E \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \quad (4.1c)$$

hoặc biểu diễn bằng số phức :

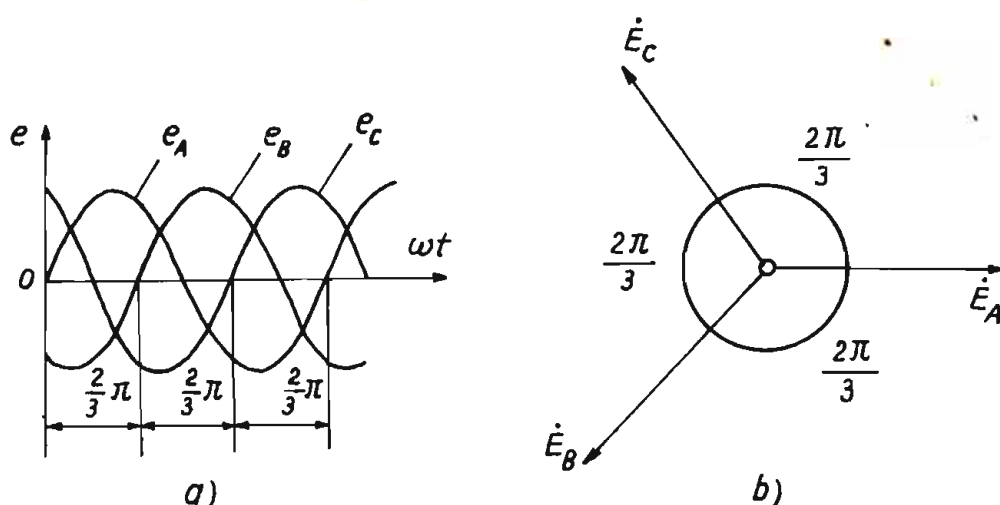
$$\dot{E}_A = E e^{j0^\circ} \quad (4.2a)$$

$$\dot{E}_B = E e^{-j(2\pi/3)} \quad (4.2b)$$

$$\dot{E}_C = E e^{j(2\pi/3)} \quad (4.2c)$$

Hình 4.2a vẽ trị số tức thời sức điện động ba pha, và đồ thị vectơ của chúng trên hình 4.2b.

Nguồn điện gồm ba sức điện động sin cùng biên độ, cùng tần số, lệch nhau về pha  $\frac{2\pi}{3}$  gọi là nguồn ba pha đối xứng.



Hình 4.2.

Đối với nguồn đối xứng ta có :

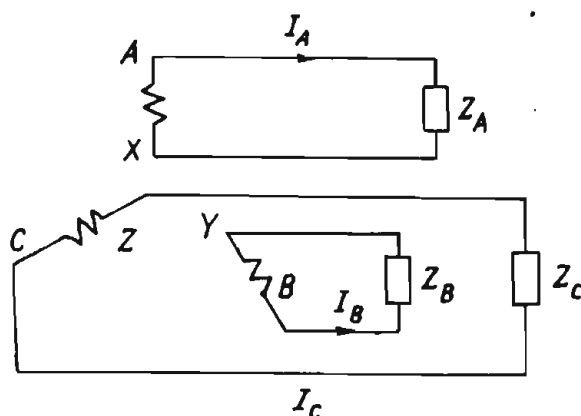
$$e_A + e_B + e_C = 0 \quad (4.3a)$$

$$\text{hoặc :} \quad \dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \quad (4.3b)$$

Nếu các dây quấn AX, BY, CZ của nguồn điện nối riêng rẽ với các tải có tổng trở pha  $\bar{Z}_A, \bar{Z}_B, \bar{Z}_C$ , ta có hệ thống ba pha gồm ba mạch một pha không liên hệ nhau (hình 4.3). Mỗi mạch điện gọi là một pha của mạch điện ba pha.

Sức điện động, điện áp, dòng điện mỗi pha của nguồn (tải) gọi là sức điện động pha ký hiệu là  $E_p$  ; điện áp pha ký hiệu là  $U_p$  ; dòng điện pha ký hiệu là  $I_p$ .

Mỗi pha có đầu và cuối. Thường quen ký hiệu đầu pha là A, B, C cuối pha là X, Y, Z.



Hình 4.3.

Nếu tổng trở phức của các pha tải bằng nhau  $\bar{Z}_A = \bar{Z}_B = \bar{Z}_C$  thì ta có tải đối xứng. Mạch điện ba pha gồm nguồn, tải và đường dây đối xứng gọi là mạch điện ba pha đối xứng.

Nếu không thoả mãn điều kiện đã nêu gọi là mạch ba pha không đối xứng.

Mạch ba pha không liên hệ (hình 4.3) thực tế ít dùng, vì cần tới 6 dây dẫn không kinh tế. Thường ba pha của nguồn được nối liền với nhau, ba pha của tải cũng được nối với nhau và có đường dây ba pha nối giữa nguồn với tải, dẫn điện năng từ nguồn đến tải. Dòng điện chạy trên đường dây pha từ nguồn đến tải gọi là dòng điện dây ký hiệu là  $I_d$ , điện áp giữa các đường dây pha ấy gọi là điện áp dây, ký hiệu  $U_d$ .

Thông thường dùng 2 cách nối : nối hình sao (Y) và nối hình tam giác ( $\Delta$ ).

## § 4.2. CÁCH NỐI HÌNH SAO

### 4.2.1. Cách nối

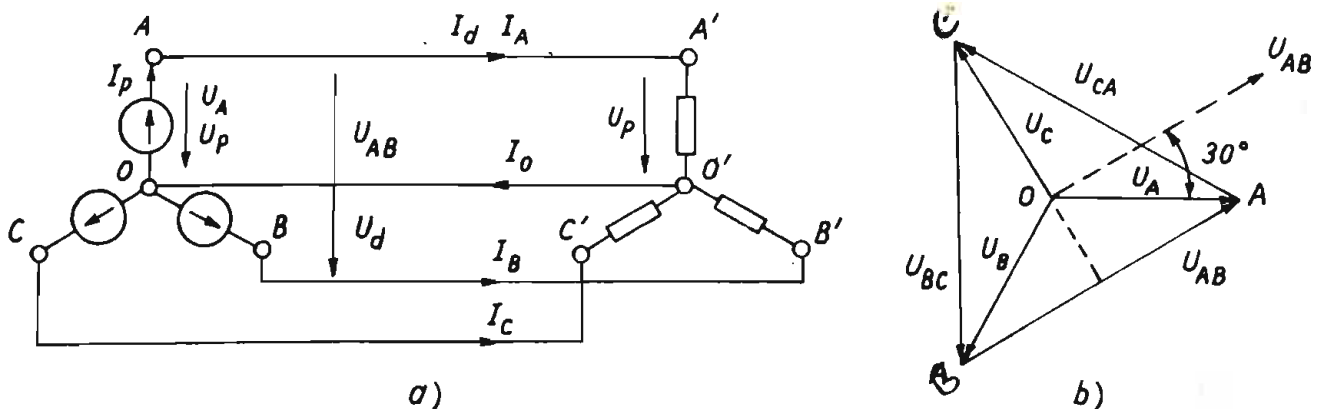
Muốn nối hình sao ta nối ba điểm cuối của pha với nhau tạo thành điểm trung tính (hình 4.4a).

Đối với nguồn, ba điểm cuối X, Y, Z nối với nhau thành điểm trung tính O của nguồn.

Đối với tải, ba điểm cuối X', Y', Z' nối với nhau tạo thành trung tính của tải O'.

### 4.3.2. Các quan hệ giữa đại lượng lượng dây và pha trong cách nối hình sao đối xứng

Các đại lượng dây và pha như định nghĩa ở §4.1 được ký hiệu trên hình 4.4a.



Hình 4.4.

a) Quan hệ giữa dòng điện dây và pha

Căn cứ vào mạch điện ta thấy quan hệ giữa dòng điện dây  $I_d$  và dòng điện pha  $I_p$  như sau :

$$I_d = I_p \quad (4.4)$$

**b) Quan hệ giữa điện áp dây và điện áp pha**

Từ hình 4.4a ta thấy điện áp dây  $U_{AB}$  (giữa pha A và pha B),  $U_{BC}$  (giữa pha B và pha C),  $U_{CA}$  (giữa pha C và pha A) quan hệ với điện áp pha  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  như sau :

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B \quad (4.5)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C \quad (4.6)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \quad (4.7)$$

Từ đồ thị vectơ điện áp (hình 4.4b) ta thấy rõ :

- Về trị số, điện áp dây  $U_d$  lớn hơn điện áp pha  $U_p$   $\sqrt{3}$  lần.

Thật vậy xét tam giác OAB :

$$AB = 2.OA.\cos 30^\circ = 2.OA.\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}OA$$

$$AB \text{ là } U_d ; OA \text{ là } U_p.$$

Vậy 
$$U_d = \sqrt{3}U_p \quad (4.8)$$

- Về pha, điện áp dây  $\dot{U}_{AB}$ ,  $\dot{U}_{BC}$ ,  $\dot{U}_{CA}$  lệch pha nhau một góc  $\frac{2\pi}{3}$  và vượt trước điện áp pha tương ứng một góc  $30^\circ$  (ví dụ :  $\dot{U}_{AB}$  vượt trước  $\dot{U}_A$  một góc  $30^\circ$  v.v...).

## § 4.3. CÁCH NỐI HÌNH TAM GIÁC

### 4.3.1. Cách nối

Muốn nối hình tam giác ta lấy đầu pha này nối với cuối pha kia. Ví dụ : A nối với Z ; B nối với X ; C với Y (hình 4.5a).

### 4.3.2. Các quan hệ giữa đại lượng dây và pha trong cách nối hình tam giác đối xứng

Các đại lượng dây và pha được ký hiệu trên hình 4.5a.

Áp dụng định luật Kiếccchốp 1 tại các nút ta có quan hệ giữa dòng điện dây và pha

$$\text{Tại nút A :} \quad \dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} \quad (4.9)$$

$$\text{Tại nút B :} \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} \quad (4.10)$$

$$\text{Tại nút C :} \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} \quad (4.11)$$

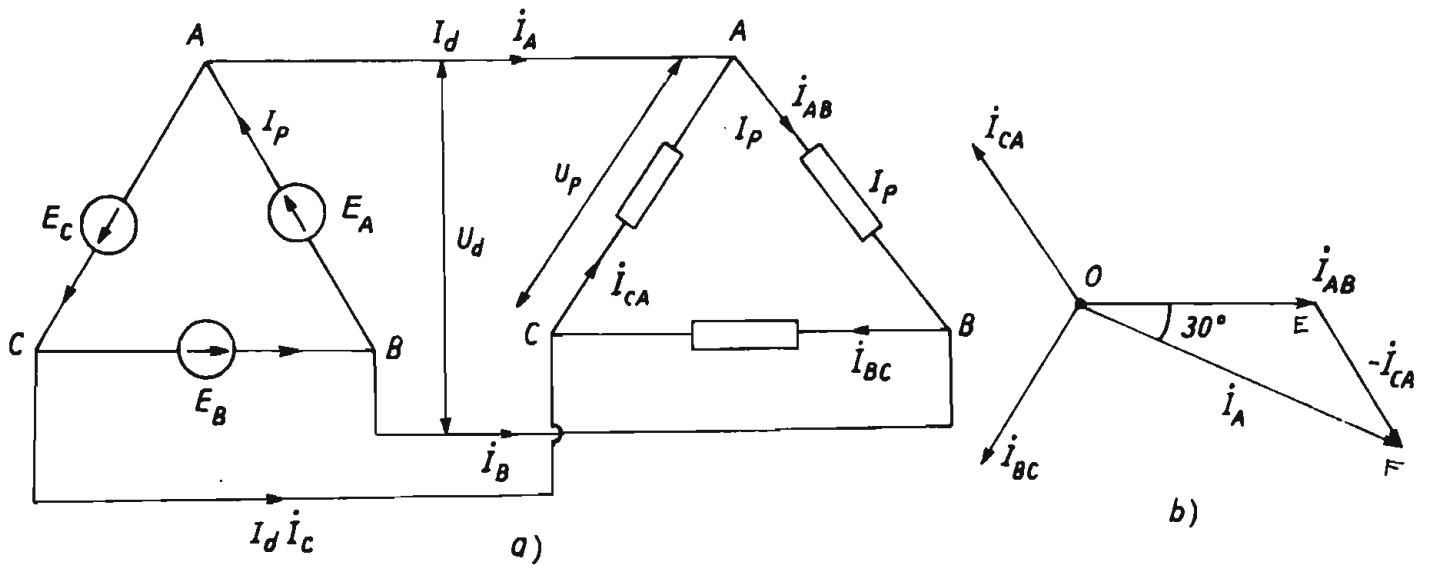
Đồ thị vectơ dòng điện dây  $\dot{I}_A$ ,  $\dot{I}_B$ ,  $\dot{I}_C$  và dòng điện pha  $\dot{I}_{AB}$ ,  $\dot{I}_{BC}$ ,  $\dot{I}_{CA}$  vẽ trên hình 4.5b.

Từ đồ thị ta thấy :

- Về trị số dòng điện dây  $I_d$  lớn gấp  $\sqrt{3}$  lần dòng điện pha  $I_p$ .

Thật vậy xét tam giác OEF :

$$EF = 2.OE.\cos 30^\circ = 2.OE.\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}.OE$$



Hình 4.5.

Độ dài EF là dòng điện dây  $I_d$ , độ dài OE là dòng điện pha  $I_p$ . Vậy ta có quan hệ :

$$I_d = \sqrt{3}.I_p \quad (4.12)$$

- Về pha, dòng điện dây  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$  lệch pha nhau một góc  $\frac{2\pi}{3}$  và chậm sau dòng điện pha tương ứng một góc  $30^\circ$  (ví dụ :  $\dot{I}_A$  chậm sau  $\dot{I}_{AB}$  một góc  $30^\circ$  v.v...).

## § 4.4. CÔNG SUẤT MẠCH ĐIỆN BA PHA

### 4.4.1. Công suất tác dụng

Công suất tác dụng  $P$  của mạch ba pha bằng tổng công suất tác dụng của các pha. gọi  $P_A, P_B, P_C$  tương ứng là công suất tác dụng của pha A, B, C ta có :

$$P = P_A + P_B + P_C \quad (4.13)$$

$$= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$$

Khi mạch ba pha đối xứng ;

$$\text{Điện áp pha : } U_A = U_B = U_C = U_p$$

$$\text{Dòng điện ba pha : } I_A = I_B = I_C = I_p$$

$$\cos \varphi_A = \cos \varphi_B = \cos \varphi_C = \cos \varphi$$

Ta có :

$$P = 3U_p I_p \cos \varphi \quad (4.14a)$$



$$\text{hoặc} \quad P = 3R_p I_p^2 \quad (4.14b)$$

trong đó :  $R_p$  - điện trở pha.

Thay đại lượng pha bằng đại lượng dây :

$$\text{đối với cách nối sao : } I_p = I_d ; U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$$

$$\text{đối với cách nối tam giác : } I_p = \frac{I_d}{\sqrt{3}} ; U_p = U_d$$

Ta có công suất tác dụng ba pha viết theo đại lượng dây, áp dụng cho cả trường hợp hình sao và hình tam giác đối xứng :

$$P = \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi \quad (4.15)$$

trong đó  $\varphi$  - góc lệch pha giữa điện áp pha và dòng điện pha tương ứng.

#### 4.4.2. Công suất phản kháng

Công suất phản kháng  $Q$  của ba pha là :

$$\begin{aligned} Q &= Q_A + Q_B + Q_C \\ &= U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C \end{aligned}$$

Khi đối xứng ta có :

$$Q = 3U_p I_p \sin \varphi \quad (4.16a)$$

$$\text{hoặc} \quad Q = 3X_p I_p^2 \quad (4.16b)$$

trong đó  $X_p$  - điện kháng pha

$$\text{hoặc} \quad Q = \sqrt{3} U_d I_d \sin \varphi \quad (4.17)$$

#### 4.4.3. Công suất biểu kiến

Công suất biểu kiến của mạch ba pha đối xứng

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_p I_p = \sqrt{3} U_d I_d \quad (4.17)$$

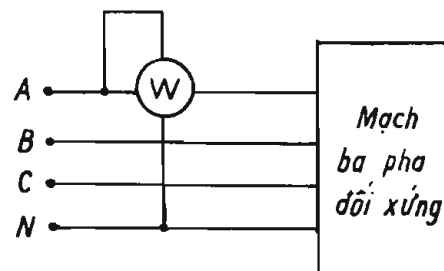
### § 4.5. ĐO CÔNG SUẤT MẠCH BA PHA

#### 4.5.1. Đo công suất mạch ba pha đối xứng

Mạch ba pha đối xứng có công suất như nhau ở các pha, ta chỉ cần đo công suất một pha (hình 4.6). Công suất ba pha là

$$P = 3P_p = 3W \quad (4.18)$$

$W$  - số chỉ của oát kế một pha.



Hình 4.6.

### 4.5.2. Đo công suất mạch ba pha không đối xứng

Để đo công suất mạch ba pha không đối xứng ta dùng 3 W kế đo công suất từng pha (hình 4.7). Công suất ba pha là

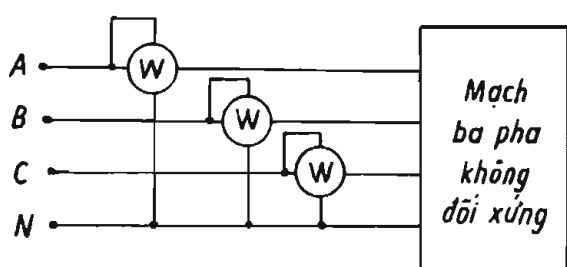
$$P = P_A + P_B + P_C \quad (4.19)$$

Ta cũng có thể dùng hai oát kế nối dây theo sơ đồ hình 4.8. Trong sơ đồ này oát kế thứ nhất có điện áp dây  $U_{AC}$  và dòng điện  $I_A$ , còn oát kế thứ hai có điện áp dây  $U_{BC}$  và dòng điện  $I_B$ . Số chỉ số cả hai oát kế là

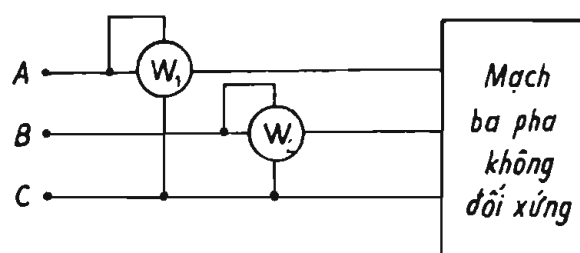
$$\vec{U}_{AC} \vec{I}_A + \vec{U}_{BC} \vec{I}_B \quad (4.20)$$

Mặt khác  $\vec{U}_{AC} = \vec{U}_A - \vec{U}_C$

$$\vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C$$



Hình 4.7.



Hình 4.8.

Thế vào phương trình (4.20) ta có

$$(\vec{U}_A - \vec{U}_C) \vec{I}_A + (\vec{U}_B - \vec{U}_C) \vec{I}_B = \vec{U}_A \vec{I}_A + \vec{U}_B \vec{I}_B - \underbrace{U_C (\vec{I}_A + \vec{I}_B)}_{-\vec{I}_C}$$

vì  $\vec{I}_A + \vec{I}_B = -\vec{I}_C$  suy ra

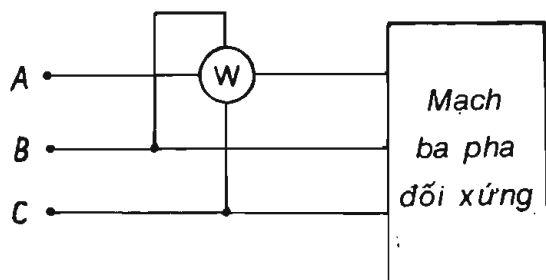
$$\vec{U}_A \vec{I}_A + \vec{U}_B \vec{I}_B + \vec{U}_C \vec{I}_C = P_A + P_B + P_C \quad (4.21)$$

Sơ đồ hình 4.8 cho phép đo công suất mạch ba pha không đối xứng.

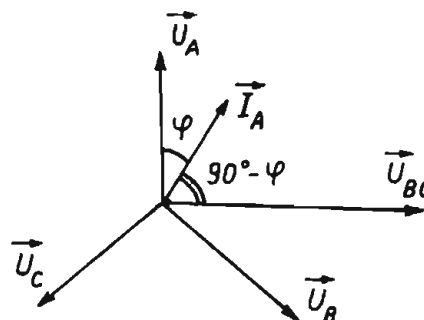
### 4.5.3. Đo công suất phản kháng mạch ba pha đối xứng

Trong sơ đồ hình 4.9a oát kế sẽ chỉ  $\vec{U}_{BC} \vec{I}_A$

Xét đồ thị vectơ hình 4.9b giả thiết  $\vec{I}_A$  chậm sau  $\vec{U}_A$  một góc  $\varphi$  góc lệch pha giữa  $\vec{I}_A$  và  $\vec{U}_{BC}$  là  $90^\circ - \varphi$ , vậy số chỉ của oát kế là



Hình 4.9a.



Hình 4.9b.

$$U_d I \cos(90^\circ - \varphi) = \sqrt{3} U_p I_p \sin \varphi = \frac{Q_{\text{ba pha}}}{\sqrt{3}} \quad (4.22)$$

vì thế sơ đồ này có thể đo công suất phản kháng mạch ba pha đối xứng.

## § 4.6. CÁCH GIẢI MẠCH ĐIỆN BA PHA ĐỐI XỨNG

Đối với mạch ba pha đối xứng, dòng điện (điện áp) các pha có trị số bằng nhau và lệch pha nhau một góc  $\frac{2\pi}{3}$ . Vì vậy khi giải mạch đối xứng, ta tách ra một pha để tính.

### 4.6.1. Nguồn nối sao đối xứng

Đây là trường hợp thường gặp nhất.

Theo hình vẽ (4.4a) ta có O là điểm trung tính của nguồn, nếu tải nối sao, O' là điểm trung tính của tải. Các dây từ nguồn đến tải AA', BB', CC' gọi là dây pha. Dây OO' gọi là dây trung tính. Mạch điện có dây trung tính gọi là mạch điện ba pha bốn dây (hình 4.4a) mạch điện không có dây trung tính gọi là mạch điện ba pha ba dây. Đối với mạch đối xứng ta luôn luôn có quan hệ .

$$I_O = I_A + I_B + I_C = 0$$

vì thế dây trung tính không có tác dụng, có thể bỏ dây trung tính. Điện thế điểm trung tính của tải đối xứng luôn luôn trùng với điện thế của trung tính nguồn.

Nếu gọi sức điện động pha nguồn là  $E_p$  thì .

Điện áp dây  $U_d$  và điện áp pha  $U_p$  của mạch điện ba pha là .

Điện áp pha phía đầu nguồn là :

$$U_p = E_p$$

Điện áp dây phía đầu nguồn là :

$$U_d = \sqrt{3} E_p$$

### 4.6.2. Nguồn nối tam giác đối xứng

Điện áp pha phía đầu nguồn là :

$$U_p = E_p$$

Điện áp dây phía đầu nguồn là .

$$U_d = U_p = E_p$$

Nguồn thường chỉ nối hình sao vì khi đó  $U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$  do đó cách điện của các

pha sẽ dễ dàng hơn khi nối tam giác. Ngoài ra cách nối nguồn hình sao còn tạo ra hai loại điện áp khác nhau. Từ giá trị điện áp dây (hoặc điện áp pha) của mạch điện ba pha, ta xác định điện áp pha của tải.

Dưới đây ta xét cụ thể hơn các trường hợp trên .

#### 4.6.3. Giải mạch điện ba pha tải nối hình sao đối xứng

a) Khi không xét tổng trở đường dây pha (hình 4.10a). Điện áp đặt lên mỗi pha tải là :

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}}$$

Tổng trở pha tải

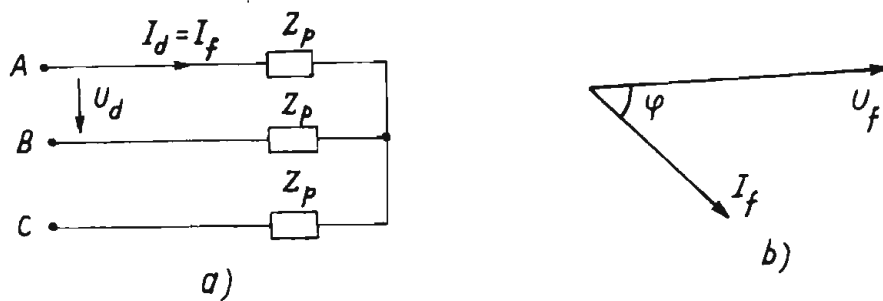
$$z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$$

$R_p, X_p$  - điện trở, điện kháng mỗi pha tải

$U_d$  - điện áp dây của mạch điện ba pha

Dòng điện pha của tải

$$I_p = \frac{U_p}{z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$



Hình 4.10.

Góc lệch pha  $\varphi$  giữa điện áp pha và dòng điện pha là

$$\varphi = \arctg \frac{X_p}{R_p}$$

Vì tải nối hình sao nên dòng điện dây bằng dòng điện pha

$$I_d = I_p$$

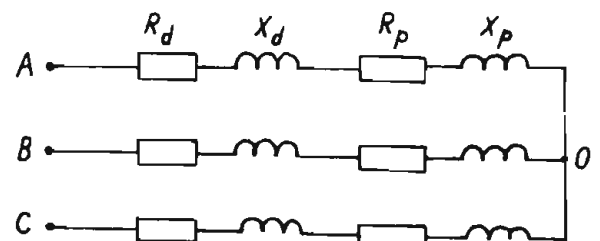
Đồ thị vectơ vẽ trên hình 4.10b.

b) Khi có xét tổng trở đường dây pha.

Cách tính toán cũng tương tự, nhưng phải gộp tổng trở đường dây với tổng trở pha tải để tính dòng điện pha và dây :

$$I_d = I_p = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{(R_d + R_p)^2 + (X_d + X_p)^2}}$$

trong đó  $R_d, X_d$  - điện trở, điện kháng đường dây (hình 4.11).



Hình 4.11.

#### 4.6.4. Giải mạch điện ba pha tải nối tam giác đối xứng

a) Khi không xét tổng trở đường dây.

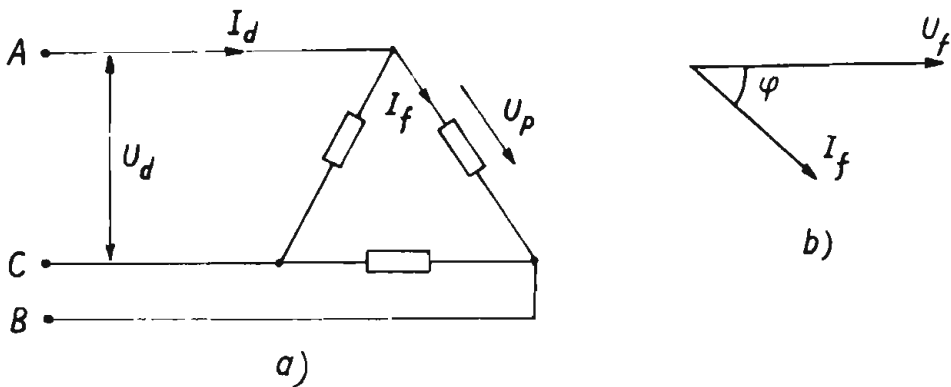
Điện áp pha tải bằng điện áp dây (hình 4.12a)

$$U_p = U_d$$

Dòng điện pha tải là

$$I_p = \frac{U_p}{z_p} = \frac{U_d}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2}}$$

Góc lệch pha  $\varphi$  giữa điện áp pha và dòng điện pha tương ứng. Đồ thị vectơ vẽ trên hình 4.12b.



Hình 4.12.

$$\varphi = \arctg \frac{X_p}{R_p}$$

Dòng điện dây :

$$I_d = \sqrt{3} I_p$$

b) Khi có xét tổng trở đường dây. Trên hình 4.13, ta biến đổi tương đương tam giác thành hình sao như sau :

Tổng trở mỗi pha lúc nối tam giác

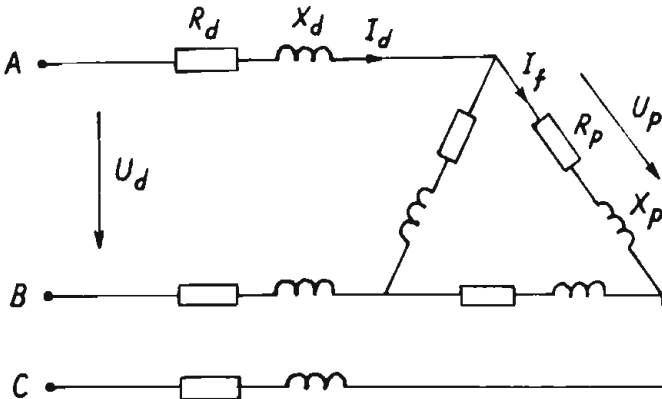
$$\bar{Z}_\Delta = R_p + jX_p$$

Biến đổi sang hình sao

$$\bar{Z} = \frac{\bar{Z}_\Delta}{3} = \frac{R_p}{3} + j \frac{X_p}{3}$$

Sau đó giải như đã xét ở trên. Dòng điện dây là :

$$I_d = \frac{U_d}{\sqrt{3} \sqrt{\left(R_d + \frac{R_p}{3}\right)^2 + \left(X_d + \frac{X_p}{3}\right)^2}}$$



Hình 4.13.

Dòng điện pha của tải khi nối tam giác

$$I_p = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

## § 4.7 CÁCH GIẢI MẠCH BA PHA KHÔNG ĐỐI XỨNG

Khi tải không đối xứng  $\bar{Z}_A \neq \bar{Z}_B \neq \bar{Z}_C$  thì dòng điện và điện áp trên các pha không đối xứng. Ta phân biệt hai trường hợp :

- 1) Tải các pha không có liên hệ hồ cảm với nhau.
- 2) Tải các pha có hồ cảm, mức độ không đối xứng còn phụ thuộc vào điện áp nguồn.

Đối với các tải không có hồ cảm ta coi mạch ba pha không đối xứng là mạch phức tạp gồm nhiều nguồn sức điện động và giải theo các phương pháp đã trình bày ở chương 3. Đối với tải có hồ cảm ta phải phân tích bài toán không đối xứng thành các bài toán đối xứng, phần chi tiết xin tham khảo giáo trình Lý thuyết mạch.

Ta xét một số trường hợp sau

### 4.7.1. Tải nối hình sao, có dây trung tính tổng trở $\bar{Z}_O$ (hình 4.14)

Để giải mạch điện trên, ta nên dùng phương pháp điện áp hai nút. Ta có điện áp giữa hai điểm trung tính  $O'$  và  $O$ .

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A \bar{Y}_A + \dot{U}_B \bar{Y}_B + \dot{U}_C \bar{Y}_C}{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B + \bar{Y}_C + \bar{Y}_O} \quad (4.23)$$

trong đó  $\bar{Y}_A = \frac{1}{\bar{Z}_A}$  ;  $\bar{Y}_B = \frac{1}{\bar{Z}_B}$  ;

$$\bar{Y}_C = \frac{1}{\bar{Z}_C} ; \bar{Y}_O = \frac{1}{\bar{Z}_O}$$

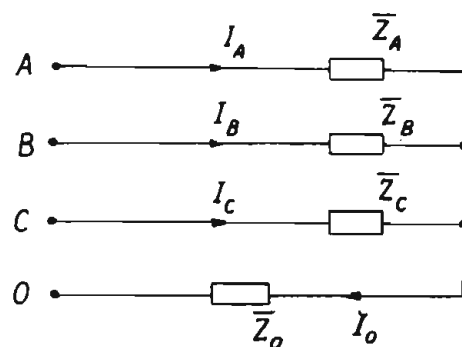
là tổng dẫn phức các pha của tải và dây trung tính.

Trường hợp nguồn đối xứng thì  $\dot{U}_A = \dot{U}_P$ ;  $\dot{U}_B = U_P e^{-j120^\circ}$  ;  $\dot{U}_C = U_P e^{-j240^\circ}$ , thay vào công thức (4.23) ta có :

$$\dot{U}_{O'O} = U_P \frac{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B e^{-j120^\circ} + \bar{Y}_C e^{-j240^\circ}}{\bar{Y}_A + \bar{Y}_B + \bar{Y}_C + \bar{Y}_O} \quad (4.24)$$

Sau khi tính được  $U_{O'O}$  theo công thức (4.24) ta tính điện áp trên các pha tải

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_{O'O}$$



Hình 4.14.

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O}$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O}$$

và dòng điện

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}'_A}{\bar{Z}_A} = \dot{U}'_A \cdot \bar{Y}_A$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}'_B}{\bar{Z}_B} = \dot{U}'_B \cdot \bar{Y}_B$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}'_C}{\bar{Z}_C} = \dot{U}'_C \cdot \bar{Y}_C$$

$$\dot{I}_O = \frac{\dot{U}'_{O'O}}{\bar{Z}_O} = \dot{U}_{O'O} \cdot \bar{Y}_O$$

hoặc 
$$\dot{I}_O = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

#### 4.7.2. Nếu xét đến tổng $\bar{Z}_d$ của các dây dẫn pha (hình 4.15)

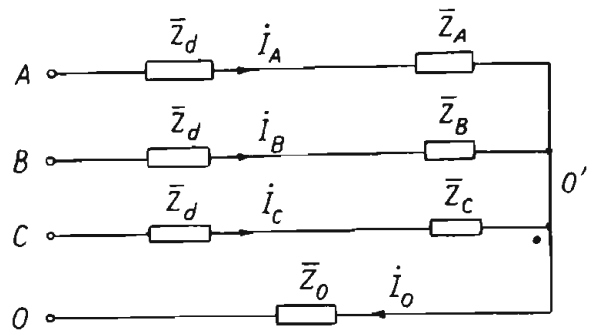
Phương pháp tính toán vẫn như trên, nhưng lúc đó tổng trở các pha phải gồm cả tổng trở dây dẫn  $\bar{Z}_d$ .

Vì vậy :

$$\bar{Y}_A = \frac{1}{\bar{Z}_A + \bar{Z}_d}$$

$$\bar{Y}_B = \frac{1}{\bar{Z}_B + \bar{Z}_d}$$

$$\bar{Y}_C = \frac{1}{\bar{Z}_C + \bar{Z}_d}$$



Hình 4.15.

#### 4.7.3. Khi tổng trở dây trung tính $\bar{Z}_O = 0$ (k·đ)

Điểm trung tính của tải O' trùng với điểm trung tính của nguồn O và điện áp trên các pha của tải bằng điện áp pha tương ứng của nguồn. Rõ ràng là nhờ có dây trung tính điện áp pha trên tải đối xứng.

Tính dòng điện trong các pha, ta áp dụng định luật Ôm cho từng pha riêng rẽ:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\bar{Z}_A} ; \quad I_A = \frac{U_A}{z_A}$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\bar{Z}_B} ; \quad I_B = \frac{U_B}{z_B}$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\bar{Z}_C}; \quad I_C = \frac{U_C}{z_C}.$$

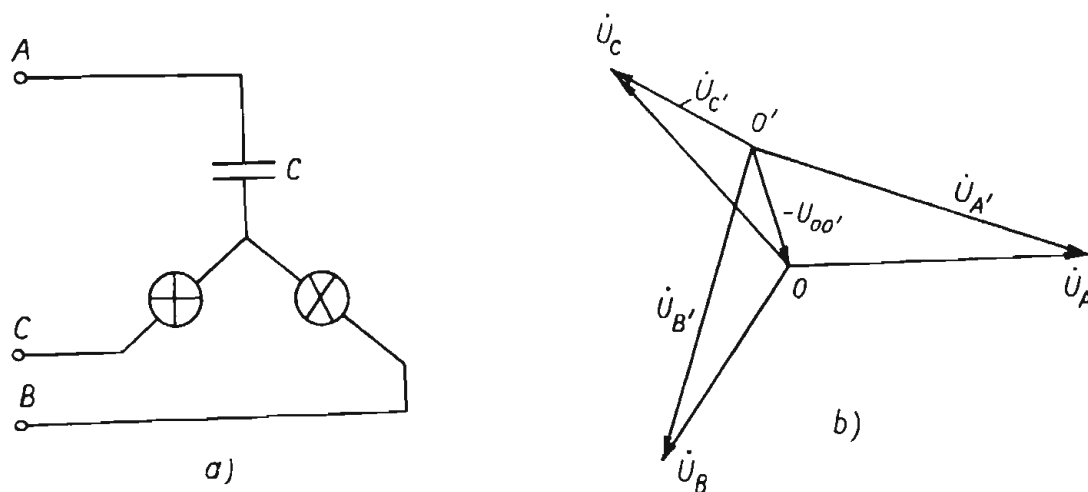
#### 4.7.4. Khi dây trung tính bị đứt hoặc không có dây trung tính ( $\bar{Z}_O = \infty$ ; $\bar{Y}_O = 0$ )

Điện áp  $U_{O'O}$  có thể lớn, do đó điện áp trên các pha tải khác điện áp pha nguồn rất nhiều có thể gây nên quá điện áp ở một pha nào đó.

Ví dụ : Giả thiết có tải ba pha không đối xứng : Pha A là một tụ điện thuần điện dung, tổng dẫn phức của pha A là :

$$\bar{Y}_A = \frac{1}{-jX_C} = jb. \text{ Hai pha B và C là hai bóng đèn có tổng dẫn } \bar{Y}_B = \bar{Y}_C =$$

$\frac{1}{R} = g$ . Nguồn điện ba pha đối xứng, có điện áp pha là  $U_p$ . (hình 4.16a). Tính điện áp đặt lên mỗi bóng đèn.



Hình 4.16.

Dùng phương pháp điện áp hai nút để giải. Vì điện áp nguồn đối xứng, nên theo công thức (4.24) thì :

$$\dot{U}_{O'O} = U_p \frac{jb + ge^{-j120^\circ} + ge^{j120^\circ}}{jb + g + g}$$

trong đó  $e^{-j120^\circ} = \cos(-120^\circ) + j\sin(-120^\circ) = -0,5 - j0,866$

$$e^{j120^\circ} = \cos 120^\circ + j\sin 120^\circ = -0,5 + j0,866$$

$$\dot{U}_A = U_p$$

$$\dot{U}_B = U_p \cdot e^{-j120^\circ} = U_p(-0,5 - j0,866)$$

$$\dot{U}_C = U_p \cdot e^{j120^\circ} = U_p(-0,5 + j0,866)$$



Thay vào công thức trên ta có :

$$\dot{U}_{O'O} = U_P \frac{j\mathbf{b} + \mathbf{g}(-0,5 - j0,866) + \mathbf{g}(-0,5 + j0,866)}{j\mathbf{b} + \mathbf{g} + \mathbf{g}}$$

Nếu chọn  $\mathbf{g} = \mathbf{b}$  thì :

$$\dot{U}_{O'O} = U_P(-0,2 + j0,6)$$

Ta suy ra điện áp đặt lên bóng đèn ở pha B :

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O} = U_P(-0,5 - j0,866) - U_P(-0,2 + j0,6) = U_P(-0,3 - j1,466)$$

về trị số thì :

$$U'_B = U_P \sqrt{0,3^2 + 1,466^2} \approx 1,5U_P$$

Tương tự, ta có điện áp đặt lên bóng đèn ở pha C :

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O} = U_P(-0,5 + j0,866) - U_P(-0,2 + j0,6) = U_P(-0,3 + j0,266)$$

và trị số của  $U'_C$  là :

$$U'_C = U_P \sqrt{0,3^2 + 0,266^2} \approx 0,4U_P$$

Đồ thị vectơ điện áp các pha tải vẽ ở hình 4.16b.

Ta nhận thấy điện áp đặt lên bóng đèn pha B lớn hơn điện áp đặt lên bóng đèn pha C, cho nên bóng đèn ở pha B sáng hơn bóng đèn ở pha C. Ta có thể dùng thiết bị đó để làm cái chỉ thứ tự pha. Muốn biết thứ tự pha của một hệ thống nào đó, đem cái chỉ thứ tự pha nối vào hệ thống điện áp ấy. Nếu gọi pha nối vào nhánh điện dung là pha A thì pha nối vào bóng đèn sáng rõ sẽ là pha B và pha nối vào bóng đèn tối sẽ là pha C.

#### 4.7.5. Cách giải mạch điện ba pha tải nối hình tam giác không đối xứng

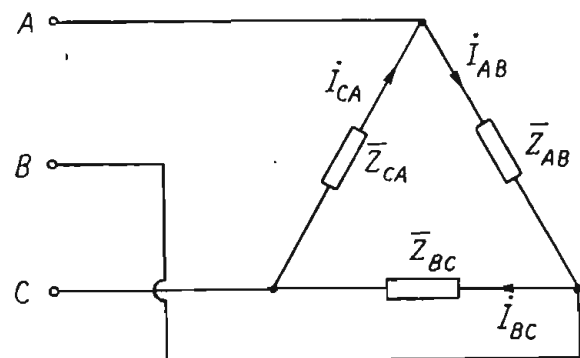
Trường hợp tải không đối xứng nối hình tam giác, nguồn điện có điện áp dây là  $\dot{U}_{AB}$ ,  $\dot{U}_{BC}$ ,  $\dot{U}_{CA}$  (hình 4.17).

Nếu không xét tổng trở các dây dẫn pha (hình 4.17), điện áp đặt lên các pha tải là điện áp dây nguồn do đó ta tính ngay được dòng điện trong các pha tải:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{AB} &= \frac{\dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_{AB}} ; I_{AB} = \frac{U_{AB}}{z_{AB}} \\ \dot{I}_{BC} &= \frac{\dot{U}_{BC}}{\bar{Z}_{BC}} ; I_{BC} = \frac{U_{BC}}{z_{BC}} \\ \dot{I}_{CA} &= \frac{\dot{U}_{CA}}{\bar{Z}_{CA}} ; I_{CA} = \frac{U_{CA}}{z_{CA}} \end{aligned}$$

Áp dụng định luật Kiếchốp 1 tại các nút ta có dòng điện dây :

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$$



Hình 4.17.

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

Nếu trường hợp có xét tổng trở  $\bar{Z}_0$  của các dây dẫn pha ta nên biến đổi tương đương tải nối tam giác thành hình sao.

## § 4.8. CÁCH NỐI NGUỒN VÀ TẢI TRONG MẠCH BA PHA

Nguồn điện và tải ba pha đều có thể nối hình sao hoặc hình tam giác, tùy theo điều kiện cụ thể như điện áp quy định của thiết bị, điện áp của mạng điện và một số yêu cầu kỹ thuật khác. Dưới đây ta xét vài trường hợp thường gặp.

### 4.8.1. Cách nối nguồn điện

Các nguồn điện dùng trong sinh hoạt thường nối thành hình sao có dây trung tính. Nối như vậy có ưu điểm là có thể cung cấp hai điện áp khác nhau : điện áp pha và điện áp dây. Hiện tại ở nước ta vẫn còn tồn tại hai loại mạng điện : mạng điện 380 V/220 V ( $U_d = 380$  V,  $U_p = 220$  V) và mạng điện 220 V/127 V).

### 4.8.2. Cách nối động cơ điện ba pha

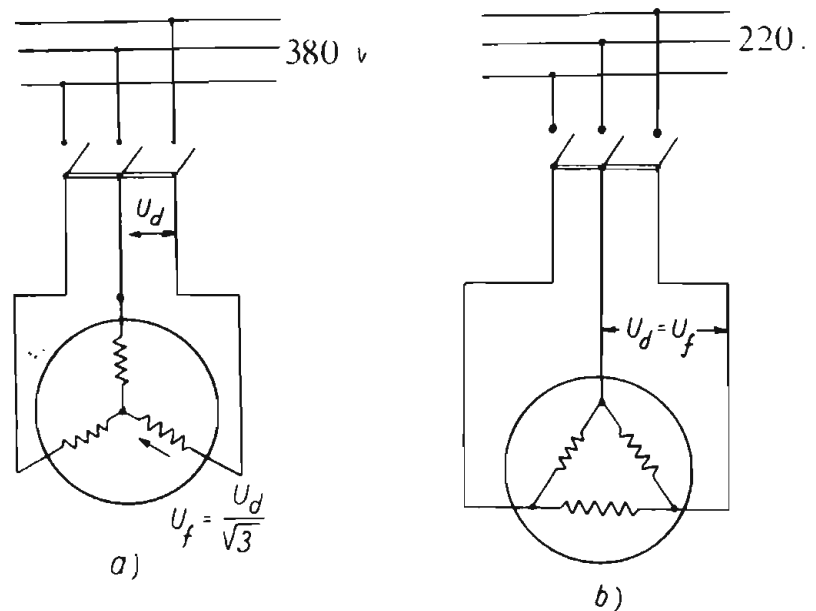
Mỗi động cơ điện ba pha gồm có ba dây quấn pha. Khi thiết kế người ta đã quy định điện áp cho mỗi dây quấn. Lúc động cơ làm việc yêu cầu phải đúng với điện áp quy định ấy. Ví dụ động cơ ba pha có điện áp qui định cho mỗi dây quấn là 220 V (nghĩa là  $U_p = 220$  V), do đó trên nhãn hiệu của động cơ ghi là :

$\Delta/Y - 220/380$  V.

Nếu như ta nối động cơ vào làm việc ở mạng có điện áp dây là 380 V thì động cơ phải được nối hình sao (hình 4.18a) vì lúc đó điện áp đặt lên mỗi dây quấn pha của động cơ

sẽ là  $U_p = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220$  V, bằng

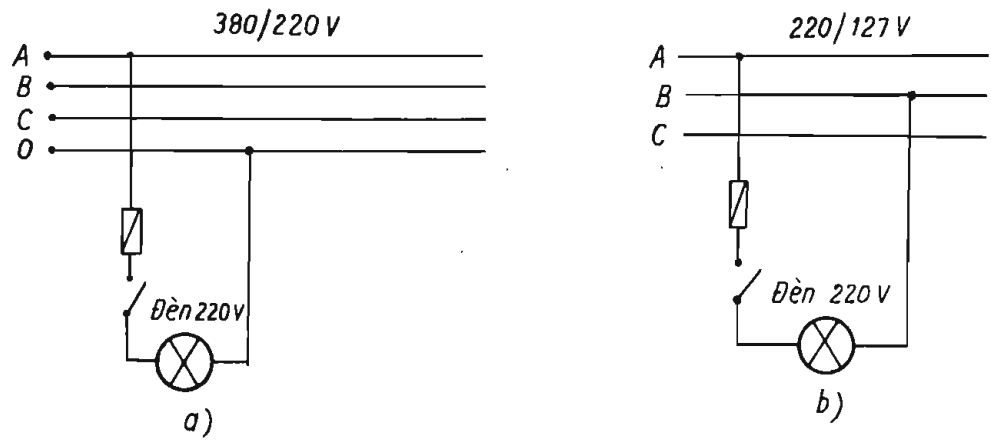
đúng điện áp quy định. Nếu động cơ ấy làm việc ở mạng 220/127 V có điện áp dây là 220 V thì động cơ phải được nối hình tam giác, lúc đó điện áp đặt lên mỗi dây quấn bằng điện áp dây 220 V, đúng bằng điện áp quy định (hình 4.18b).



Hình 4.18.

### 4.8.3. Cách nối các tải một pha

Tùy thuộc vào điện áp quy định lúc thiết kế cho tải một pha đã ghi ở nhãn (cho dây quấn động cơ một pha hoặc bóng đèn), lúc làm việc yêu cầu đúng điện áp quy định. Ví dụ động cơ một pha điện áp 220 V, bóng đèn 220 V lúc làm việc ở mạng điện 380/220 V thì phải nối giữa dây pha và dây trung tính (hình 4.19a). Cũng động cơ và bóng đèn ấy nếu làm việc ở mạng 220/127 V thì phải nối vào hai dây pha (hình 4.19b) để điện áp đặt vào thiết bị đúng định mức.



Hình 4.19

Tuy nhiên lúc chọn thiết bị trong sinh hoạt, ta cần chọn điện áp thiết bị bằng điện áp pha, như vậy ta đã sử dụng một dây pha và dây trung tính. Điện áp đặt lên mỗi đèn, mỗi tải là điện áp pha. Nhờ có dây trung tính nên mặc dù tải không đối xứng, điện áp đặt lên các bóng đèn không vượt quá điện áp pha, và khi cầu chì pha nào cháy, ví dụ pha A bị đứt cầu chì thì chỉ có đèn của pha A không sáng, còn đèn của pha B và pha C vẫn sáng bình thường.

Bảng tóm tắt chương 4

Quan hệ dòng, áp, công suất trong mạch ba pha đối xứng

Cách nối	Quan hệ dòng, áp	Công suất
Hình sao (Y)	$U_d = \sqrt{3}U_p$ $I_d = I_p$	$P = 3U_p I_p \cos\varphi = \sqrt{3}U_d I_d \cos\varphi$ $Q = \sqrt{3}U_d I_d \sin\varphi$ $S = \sqrt{3}U_d I_d$
Tam giác ( $\Delta$ )	$U_d = U_p$ $I_d = \sqrt{3}I_p$	$P = \sqrt{3}U_d I_d \cos\varphi$ $Q = \sqrt{3}U_d I_d \sin\varphi$ $S = \sqrt{3}U_d I_d$

### CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 4

1. Quan hệ dòng và áp trong mạch ba pha đối xứng nối hình sao và hình tam giác.
2. Công suất trong mạch ba pha. Cách đo công suất mạch ba pha
3. Phương pháp giải mạch ba pha đối xứng
4. Phương pháp giải mạch ba pha không đối xứng tải không có liên hệ hồ cảm.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 4

### Bài số 4.1.

Mạch ba pha đối xứng  $U_d = 220V$  cung cấp cho hai tải (hình 4.20)

Tải 1 nối Y có  $R_1 = 4\Omega$ ,  $X_1 = 3\Omega$

Tải 2 là động cơ có  $P_2 = 7 \text{ kW}$ ,  $\cos\varphi = 0,6$

hiệu suất  $\eta = 0,9$  nối tam giác ( $\Delta$ )

Tính :

- 1) Dòng điện trong các pha của tải
- 2) Dòng điện trên đường dây  $I_{d1}$  và  $I_{d2}$
- 3) Dòng điện tổng trên đường dây  $I_d$
- 4) Công suất tác dụng  $P$ , công suất phản kháng  $Q$ , công suất biểu kiến  $S$  của toàn mạch.

*Bài giải*

Vì điện áp  $U_d$  đặt trực tiếp lên các tải nên ta tính được ngay các dòng điện.

$$1) \text{ Vì tải 1 nối Y nên } I_{d1} = I_{p1} = \frac{U_d}{\sqrt{3} \cdot z_1} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{4^2 + 3^2}} = 25,4A$$

$$P_1 = 3R_1 I_{p1}^2 = 3 \cdot 4 \cdot 25,4^2 = 7742 \text{ W}$$

$$Q_1 = 3X_1 I_{p1}^2 = 3 \cdot 3 \cdot 25,4^2 = 5806 \text{ VA}$$

2) Đối với tải 2 là động cơ không đồng bộ ba pha  $P_2 = 7 \text{ kW}$  là công suất cơ trên trục động cơ, công suất điện động cơ tiêu thụ là  $P_{2d} = \frac{P_2}{\eta} = \frac{7000}{0,9} = 7777 \text{ W}$

Dòng điện dây  $I_{2d}$  của động cơ là :

$$I_{d2} = \frac{P_{2d}}{\sqrt{3} U_d \cos\varphi} = \frac{7777}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,6} = 34,04 \text{ A}$$

Vì động cơ nối tam giác nên dòng điện pha trong dây quấn động cơ là :

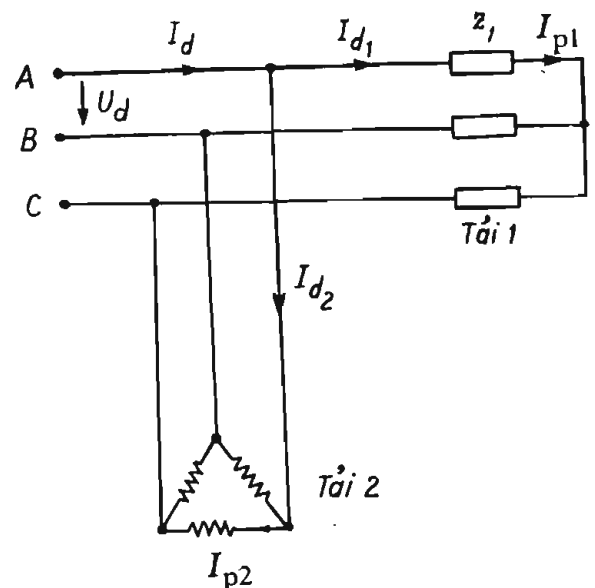
$$I_{p2} = \frac{I_{d2}}{\sqrt{3}} = \frac{34,04}{\sqrt{3}} = 19,65 \text{ A}$$

Công suất phản kháng của động cơ

$$Q_{2d} = P_{2d} \cdot \tan\varphi = 7777 \cdot \tan 53^\circ 10' \\ = 10369 \text{ VAr}$$

3) Công suất toàn mạch

$$P = P_1 + P_{2d} = 7742 + 7777 \\ = 15.519 \text{ W}$$



Hình 4.20

$$Q = Q_1 + Q_{2d} = 5806 + 10369 = 16.175 \text{ VAr}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{15.519^2 + 16.175^2} = 22.421 \text{ VAr}$$

4) Dòng điện tổng trên đường dây

$$I_d = \frac{S}{\sqrt{3} U_d} = \frac{22.421}{\sqrt{3} \cdot 220} = 58,84 \text{ A}.$$

#### Bài số 4.2.

Tải ba pha đối xứng nối Y có  $R = 3\Omega$ ,  $X = 4\Omega$  nối vào lưới có  $U_d = 220 \text{ V}$ . Xác định dòng điện, điện áp, công suất trong các trường hợp sau :

- Bình thường
- Đứt dây pha A
- Ngắn mạch pha A

#### Bài giải

a) Khi làm việc bình thường tải đối xứng điện áp pha của tải là

$$U_p = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V}$$

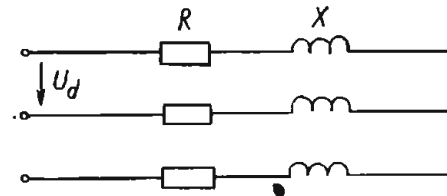
Theo sơ đồ hình 4.21a ta có :

$$I_d = I_p = \frac{U_p}{z} = \frac{127}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = 25,4 \text{ A}$$

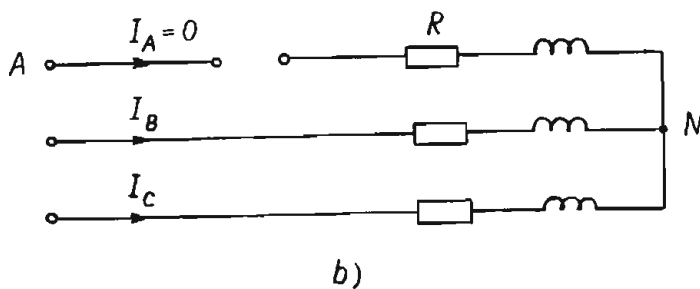
$$P = 3RI_p^2 = 3 \cdot 3 \cdot 25,4^2 = 5806 \text{ W}$$

$$Q = 3XI_p^2 = 3 \cdot 4 \cdot 25,4^2 = 7742 \text{ VAr}.$$

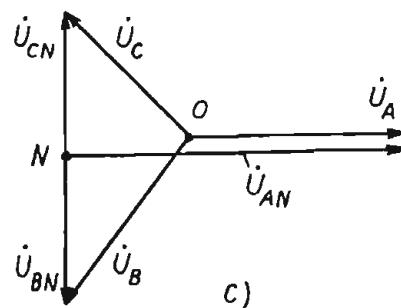
b) Khi đứt dây pha A tải không đối xứng, theo sơ đồ hình 4.21b có  $I_A = 0$ . Tải pha B và pha C nối tiếp và đặt vào điện áp dây  $U_{BC}$ . Vì tổng trở phức của pha B và pha C bằng nhau nên theo đồ thị vectơ hình 4.21c có



Hình 4.21a



b)



c)

Hình 4.21b,c.

$$U_{BN} = U_{CN} = \frac{U_d}{2} = 110 \text{ V}$$

$$U_{AN} = U_d \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} 220 = 110\sqrt{3} \text{ V}$$

Trị số hiệu dụng của dòng điện các pha là :

$$I_B = I_C = \frac{U_{BC}}{\sqrt{(2R)^2 + (2X)^2}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A}$$

Góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện

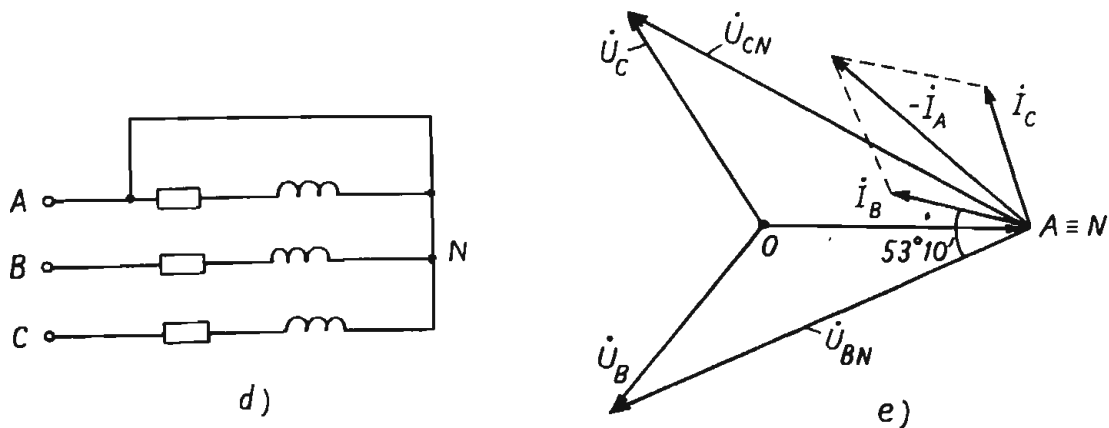
$$\varphi_B = \varphi_C = \arctg \frac{X}{R} = \arctg \frac{4}{3} = 53^\circ 10'$$

Công suất tác dụng của tải

$$P = RI_B^2 + RI_C^2 = 3.22^2 + 3.22^2 = 2904 \text{ W}$$

Công suất phản kháng của tải

$$Q = XI_B^2 + XI_C^2 = 4.22^2 + 4.22^2 = 3872 \text{ VAr}$$



Hình 4.21.

c) Khi ngắn mạch pha A (hình 4.21d) điện áp các pha của tải là

$$U_{AN} = 0$$

$$U_{BN} = U_{AB} = U_d = 220 \text{ V}$$

$$U_{CN} = U_{AC} = U_d = 220 \text{ V}$$

Điểm trung tâm của tải chuyển từ O và A.

Vậy dòng điện các pha của tải :

$$I_B = I_C = \frac{U_d}{z} = \frac{220}{\sqrt{3^2 + 4^2}} = 44 \text{ A}$$

$$\varphi_B = \varphi_C = \arctg \frac{4}{3} = 53^\circ 10'$$

Góc lệch pha giữa  $\dot{I}_B$  và  $\dot{I}_C$  là  $60^\circ$

$$\dot{I}_A = -(\dot{I}_B + \dot{I}_C)$$

Theo đồ thị vectơ hình 4.21e suy ra

$$I_A = 2I_B \cos 30^\circ = 76 \text{ A}$$

Công suất của tải

$$P = 3.44^2 + 3.44^2 = 11616 \text{ W}$$

$$Q = 4.44^2 + 4.44^2 = 15488 \text{ VAr}$$

**Bài số 4.3.**

Mạch ba pha tải nối tam giác biết  $R_1 = 4\Omega$ ,  $X_1 = 3\Omega$

$R_2 = 5\Omega$ ,  $R_3 = 3\Omega$ ,  $X_3 = 4\Omega$ ,  $U_d = 220 \text{ V}$  (hình 4.22a)

1. Tính dòng điện pha, dòng điện dây, công suất  $P$ ,  $Q$  của mạch và số chỉ của các oát kế khi làm việc bình thường.

2. Tính dòng điện pha, dòng điện dây và công suất của mạch khi đứt pha A từ nguồn tới.

3. Tính dòng điện pha, dòng điện dây và công suất khi đứt pha tải BC.

*Bài giải.*

1. Khi làm việc bình thường đây là bài toán mạch ba pha không đối xứng ta không thể tách một pha. Ở đây ta dùng phương pháp số phức tính dòng điện các pha rồi áp dụng định luật Kiếchốp 1 cho các nút A, B, C để tìm các dòng điện dây

Chọn  $\dot{U}_{BC} = 220 \angle 0^\circ$  thì  $\dot{U}_{AB} = 220 \angle 120^\circ$ ,  $\dot{U}_{CA} = 220 \angle -120^\circ$ .

Tổng trở các pha của tải

$$\bar{Z}_{AB} = R_1 + jX_1 = 4 + j3 = 5 \angle 36^\circ 50' \Omega$$

$$\bar{Z}_{BC} = R_2 = 5 = 5 \angle 0^\circ \Omega$$

$$\bar{Z}_{CA} = R_3 - jX_3 = 3 - j4 = 5 \angle -53^\circ 10' \Omega$$

Dòng điện các pha là :

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\bar{Z}_{AB}} = \frac{220 \angle 120^\circ}{5 \angle 36^\circ 50'} = 44 \angle 83^\circ 10' = 5,24 + j43,6 \text{ A}$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\bar{Z}_{BC}} = \frac{220 \angle 0^\circ}{5 \angle 0^\circ} = 44 \text{ A}$$

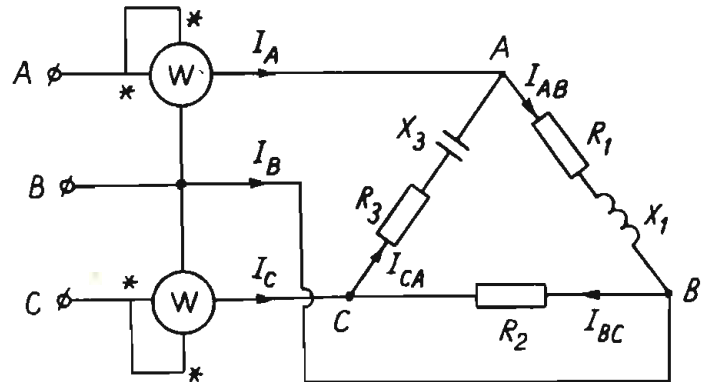
$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\bar{Z}_{CA}} = \frac{220 \angle -120^\circ}{5 \angle -53^\circ 10'} = 44 \angle -66^\circ 50' = 17,3 - j40,5 \text{ A}.$$

Áp dụng định luật Kiếchốp 1 cho các nút A, B, C tìm được các dòng điện dây

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 5,24 + j43,6 - 17,3 + j40,5 = -12,06 + j84,1 \\ &= 84,8 \angle 98^\circ 10' \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_B &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 44 - 5,24 - j43,6 = 38,76 - j43,6 \\ &= 58,2 \angle -48^\circ 20' \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_C &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 17,3 - j40,5 - 44 = -26,7 - j40,5 \\ &= 48,5 \angle -123^\circ 25' \text{ A} \end{aligned}$$



Hình 4.22a.

Công suất tác dụng của tải ba pha

$$P = R_1 I_{AB}^2 + R_2 I_{BC}^2 + R_3 I_{CA}^2 = 4.44^2 + 5.44^2 + 3.44^2 = 23.232 \text{ W}$$

Công suất phản kháng của tải ba pha

$$Q = X_1 I_{AB}^2 - X_3 I_{CA}^2 = 3.44^2 - 4.44^2 = -1936 \text{ VAR}$$

Số chỉ của các oát kế:

$$P_1 = U_{AB} I_A \cos(\dot{U}_{AB}, \dot{I}_A) = 220.84,8 \cos(120^\circ - 98^\circ 10') = 17348 \text{ W}$$

$$P_2 = U_{CB} I_C \cos(\dot{U}_{CB}, \dot{I}_C) = 220.48,5 \cos(-180^\circ + 123^\circ 25') = 5860 \text{ W}$$

2. Trường hợp đứt dây pha A từ nguồn tới (hình 4.22b)

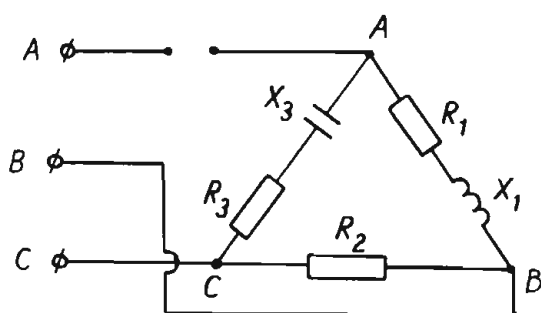
$I_A = 0$ . Ta vẽ lại mạch như hình 4.22c. Đây là mạch có 2 nhánh song song

$$I_{BC} = \frac{U_{BC}}{R_2} = \frac{220}{5} = 44 \text{ A}$$

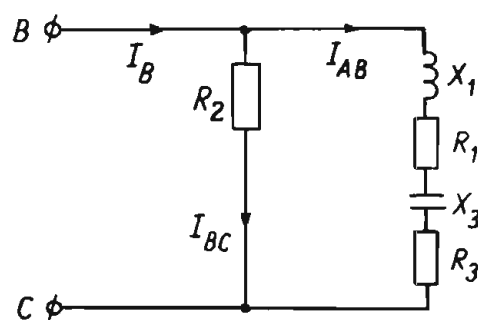
$$I_{CA} = I_{AB} = \frac{U_{BC}}{\sqrt{(R_1 + R_3)^2 + (X_1 - X_3)^2}} = \frac{220}{\sqrt{7^2 + 1^2}} = 31,11 \text{ A}$$

Góc lệch pha giữa  $U_{BC}$  và  $I_{AB}$  bằng  $\arctg\left(-\frac{1}{8}\right) = -7^\circ 10'$  còn dòng điện  $I_{BC}$  trùng pha với  $U_{BC}$  từ đó suy ra

$$I_B = \sqrt{I_{BC}^2 + I_{AB}^2 + 2I_{BC} \cdot I_{AB} \cos 7^\circ 10'} = 74,9 \text{ A}$$



Hình 4.22b



Hình 4.22c

Công suất tác dụng của toàn mạch

$$P = R_1 I_{AB}^2 + R_2 I_{BC}^2 + R_3 I_{CA}^2 = 4.31,11^2 + 5.44^2 + 3.31,11^2 = 16454,8 \text{ W}$$

Công suất phản kháng toàn mạch

$$Q = X_1 I_{AB}^2 - X_3 I_{CA}^2 = 3.31,11^2 - 4.31,11^2 = -967,8 \text{ VAR}$$

Có thể tính

$$I_B = I_C = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{U_{BC}} = \frac{\sqrt{16454,8^2 + 967,8^2}}{220} = 74,9 \text{ A}$$

3. Trường hợp đứt pha BC (hình 4.22d)

$I_{BC} = 0$ , vì các điện áp dây là không đổi nên dòng điện hai pha kia  $I_{AB}$ ,  $I_{CA}$  và  $I_A$  không đổi, nghĩa là  $I_{CA} = 44 \text{ A}$ ,  $I_{AB} = 44 \text{ A}$ ,  $I_A = 84,8 \text{ A}$ .



Vì đứt pha BC nên

$$I_B = I_{AB} = 44 \text{ A}$$

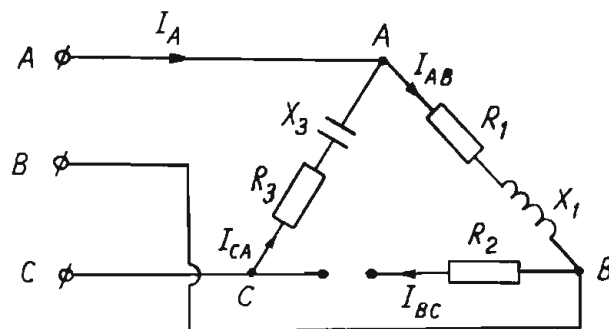
$$I_C = I_{CA} = 44 \text{ A}$$

Công suất tác dụng

$$\begin{aligned} P &= R_1 I_{AB}^2 + R_3 I_{CA}^2 \\ &= 4.44^2 + 3.44^2 = 13552 \text{ W} \end{aligned}$$

Công suất phản kháng

$$\begin{aligned} Q &= X_1 I_{AB}^2 - X_3 I_{CA}^2 \\ &= 3.44^2 - 4.44^2 = -1936 \text{ VAR.} \end{aligned}$$



Hình 4.22d.

#### Bài số 4.4.

Tải ba pha hình sao gồm  $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$  đèn nối song song và được nối vào mạng có điện áp dây  $U_d = 220 \text{ V}$ . Cho  $n_A = 50$ ;  $n_B = 40$ ;  $n_C = 20$ . Thông số mỗi bóng đèn  $P_d = 100 \text{ W}$ ;  $U_d = 127 \text{ V}$  (hình 4.23a).

1) Khi có dây trung tính và coi điện trở đường dây và dây trung tính bằng không. Tính dòng điện dây  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  và dòng điện trong dây trung tính  $I_N$ .

2) Tính điện áp pha đặt lên đèn khi điện trở đường dây mỗi pha  $R = 0,25 \Omega$  và điện trở dây trung tính  $R_N = 0,5 \Omega$  trong hai trường hợp :

a) Bình thường.

b) Đứt dây trung tính.

#### Bài giải

1) Khi có dây trung tính và coi điện trở đường dây và dây trung tính bằng không, mỗi đèn sẽ chịu điện áp pha

$$U_f = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V}$$

Điện áp đặt lên mỗi đèn bằng điện áp định mức của đèn. Các đèn nối song song do đó công suất và điện trở mỗi pha là :

$$P_A = n_A P_d = 50.100 = 5000 \text{ W}$$

$$R_A = \frac{U_f^2}{P_A} = \frac{127^2}{5000} = 3,22 \Omega$$

$$P_B = n_B P_d = 40.100 = 4000 \text{ W}$$

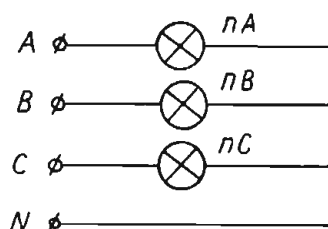
$$R_B = \frac{U_f^2}{P_B} = \frac{127^2}{4000} = 4,03 \Omega$$

$$P_C = n_C P_d = 20.100 = 2000 \text{ W}$$

$$R_C = \frac{U_f^2}{P_C} = \frac{127^2}{2000} = 8,06 \Omega$$

Dòng điện trong các pha tải

$$I_A = \frac{U_f}{R_A} = \frac{127}{3,22} = 39,44 \text{ A}$$



Hình 4.23a.

$$I_B = \frac{U_f}{R_B} = \frac{127}{4,03} = 31,51 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{U_f}{R_C} = \frac{127}{8,06} = 15,76 \text{ A}$$

Đồ thị véctơ vẽ trên hình 4.23b.

Dòng điện dây trung tính

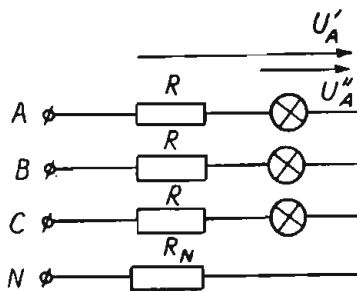
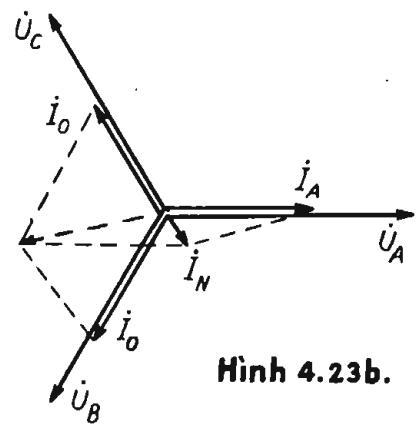
$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

$$\dot{I}_N = 39,44e^{j0^\circ} + 31,51e^{-j120^\circ} + 15,76e^{-j240^\circ} = 39,44 + 31,51 \left( -\frac{1}{2} - j0,866 \right)$$

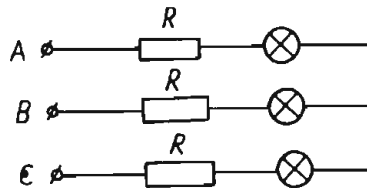
$$+ 15,76 \left( -\frac{1}{2} - j0,866 \right) = 15,81 - j13,64$$

Trị số hiệu dụng

$$I_N = \sqrt{15,81^2 + 13,64^2} = 20,9 \text{ A}$$

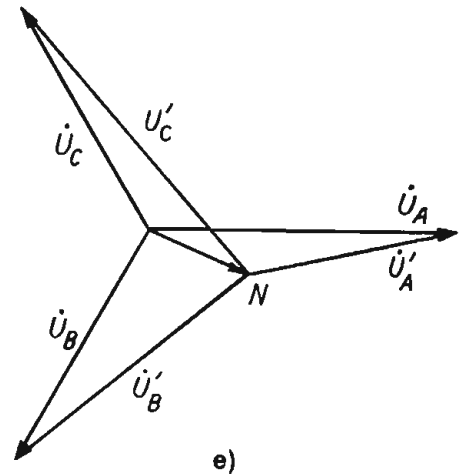


c)



d)

Hình 4.23.



e)

2) Để tính điện áp pha trên các tải, ta tìm điện áp giữa trung tính của nguồn và tải.

a) Mạch điện trên hình 4.23c.

Điện áp giữa trung tính của nguồn và tải

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{U}_A \bar{Y}'_A + \dot{U}_B \bar{Y}'_B + \dot{U}_C \bar{Y}'_C}{\bar{Y}'_A + \bar{Y}'_B + \bar{Y}'_C + \bar{Y}'_N}$$

Trong đó điện áp pha của nguồn là:

$$\dot{U}_A = 127e^{j0^\circ}$$

$$\dot{U}_B = 127e^{-j120^\circ}$$

$$\dot{U}_C = 127e^{-j240^\circ}$$

$$R'_A = R + R_A = 0,25 + 3,22 = 3,47 \, \Omega$$

$$R'_B = R + R_B = 0,25 + 4,03 = 4,28 \, \Omega$$

$$R'_C = R + R_C = 0,25 + 8,06 = 8,31 \, \Omega$$

Tổng dẫn các pha và trung tính :

$$Y'_A = \frac{1}{R'_A} = 0,288 \, S ; \quad Y'_B = \frac{1}{R'_B} = 0,23 \, S$$

$$Y'_C = \frac{1}{R'_C} = 0,12 \, S ; \quad Y_N = \frac{1}{R_N} = 2 \, S$$

Thay số vào tính được

$$\dot{U}_N = 5,35 - j4,73 \, V$$

Điện áp pha đặt lên điện trở  $R'_A$ ,  $R'_B$ , và  $R'_C$  là :

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_N ; \quad \dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_N ; \quad \dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_N$$

Thay số vào tính được :

$$\dot{U}'_A = 121,65 + j4,73 \, V$$

$$\text{Trị số hiệu dụng } U'_A = \sqrt{121,65^2 + 4,73^2} = 121,7 \, V$$

$$\dot{U}'_B = -68,85 - j105,27 \, V$$

$$\text{Trị số hiệu dụng } U'_B = \sqrt{68,85^2 + 105,27^2} = 125,8 \, V.$$

$$\dot{U}'_C = -68,85 + j114,73 \, V$$

$$\text{Trị số hiệu dụng } U'_C = \sqrt{68,85^2 + 114,73^2} = 133,8 \, V$$

Trị số hiệu dụng điện áp trên các đèn

$$U''_A = U'_A \frac{R_A}{R'_A} = 121,7 \frac{3,22}{3,47} = 113 \, V$$

$$U''_B = U'_B \frac{R_B}{R'_B} = 125,8 \frac{4,03}{4,28} = 118,4 \, V$$

$$U''_C = U'_C \frac{R_C}{R'_C} = 133,8 \frac{8,06}{8,31} = 129,7 \, V.$$

Do đường dây pha và đường dây trung tính có tổng trở nên điện áp pha của tải không đối xứng phân bố không đều ; trung tính của tải lệch khỏi trung tính của nguồn. Sự phân bố điện áp không đều càng thể hiện rõ khi đứt dây trung tính (sẽ xét dưới đây).

b) Không có dây trung tính (hình 4.23d). Cách làm tương tự trên. Tính điện áp giữa điểm trung tính nguồn và tải.

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{U}_A \bar{Y}'_A + \dot{U}_B \bar{Y}'_B + \dot{U}_C \bar{Y}'_C}{\bar{Y}'_A + \bar{Y}'_B + \bar{Y}'_C} = 22 - j19,5 \text{ V}.$$

Trị số hiệu dụng điện áp pha đặt lên điện trở đường dây và đèn ( $R'_A$ ,  $R'_B$ ,  $R'_C$ ) là :

$$U'_A = 106,8 \text{ V} ; U'_B = 124,5 \text{ V} ; U'_C = 155,2 \text{ V}$$

Trị số hiệu dụng điện áp trên các đèn :

$$U''_A = U'_A \frac{R_A}{R'_A} = 106,8 \frac{3,22}{3,47} = 99 \text{ V}$$

$$U''_B = U'_B \frac{R_B}{R'_B} = 124,5 \frac{4,03}{4,28} = 117,2 \text{ V}$$

$$U''_C = U'_C \frac{R_C}{R'_C} = 155,2 \frac{8,06}{8,31} = 150,5 \text{ V}$$

Đồ thị vectơ điện áp vẽ trên hình 4.23e. Từ kết quả tính toán và đồ thị thấy rõ điểm trung tính tải lệch xa khỏi điểm trung tính nguồn, điện áp trên các pha chênh lệch nhau nhiều. So sánh với kết quả mục 1 và 2a đã xét các trường hợp trên, ta thấy rõ vai trò của dây trung tính khi tải không đối xứng.

#### Bài số 4.5.

Mạch ba pha đối xứng (hình 4.24a) gồm có tải 1 nối hình sao

$$\bar{Z}_1 = (6 + j8) \Omega, \text{ tải 2 nối tam giác}$$

$$\bar{Z}_2 = (12 + j12) \Omega, \text{ đường dây có}$$

$$\bar{Z}_d = (1 + j1) \Omega, U_d = 380 \text{ V}$$

- 1) Tính dòng điện  $I_1$ ,  $I_2$  và  $I$
- 2) Công suất các tải tiêu thụ
- 3) Công suất tiêu tán trên đường dây.

*Bài giải*

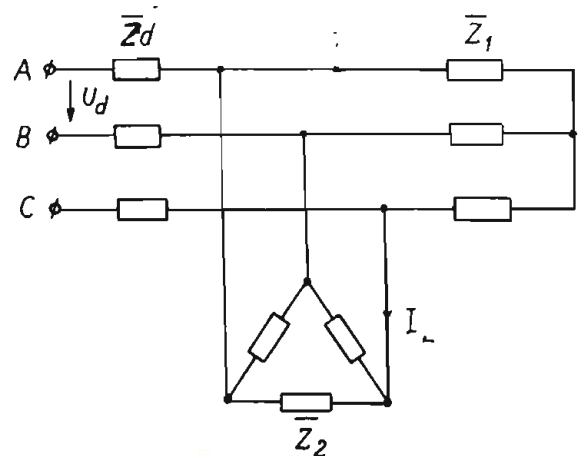
Đây là bài toán mạch ba pha đối xứng. Để tách được một pha cần biến đổi tải tam giác sang hình sao. Ta được

$$\bar{Z}'_2 = \frac{\bar{Z}_2}{3} = 4 + j4 \Omega \text{ (hình 4.24b). Sau}$$

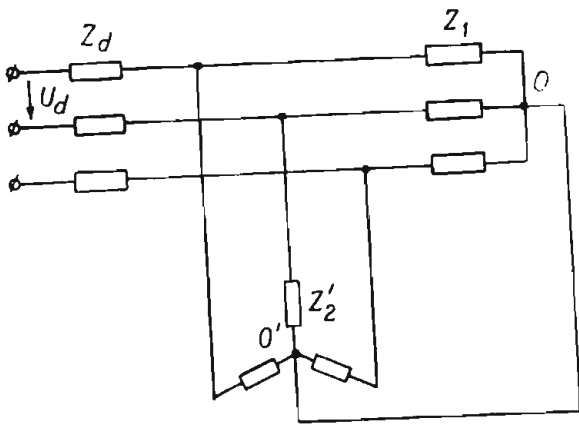
khi biến đổi  $\Delta \rightarrow Y$  ta có sơ đồ tương đương một pha hình 4.24c

- 1) Từ sơ đồ hình 4.24c suy ra

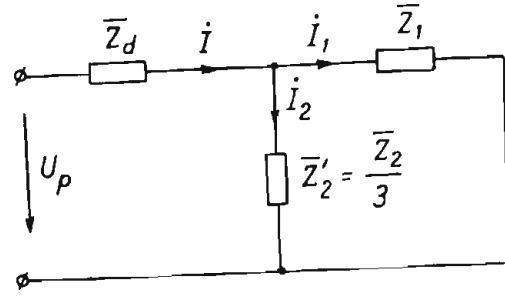
$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_P}{\bar{Z}_d + \frac{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}'_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}'_2}} = \frac{220 \angle 0^\circ}{1 + j1 + \frac{(6 + j8)(4 + j4)}{6 + j8 + 4 + j4}} =$$



Hình 4.24a.



b)



c)

Hình 4.24.

$$= \frac{220 \angle 0^\circ}{5,01 \angle -47^\circ 18'} = 43,91 \angle -47^\circ 18' \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I} \frac{\bar{Z}'_2}{\bar{Z}'_2 + \bar{Z}_1} = 43,91 \angle -47^\circ 18' \frac{(4 + j4)}{10 + j12} = \\ &= \frac{43,91 \angle -47^\circ 18' \cdot 4\sqrt{2} \angle -45^\circ}{15,62 \angle 50^\circ 19'} = 15,58 \angle -52^\circ 37' \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= \dot{I} \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}'_2} = 43,91 \angle -47^\circ 18' \frac{(6 + j8)}{10 + j12} = \\ &= \frac{43,91 \angle -47^\circ 18' \cdot 10 \angle 53^\circ 13'}{15,62 \angle 50^\circ 19'} = 28,11 \angle -44^\circ 24' \text{ A} \end{aligned}$$

2) Công suất các tải tiêu thụ :

$$P = 3 R_1 I_1^2 + 3 R'_2 I_2^2 = 3(6.15,85^2 + 4.28,11^2) = 14000 \text{ W}$$

$$Q = 3 X_1 I_1^2 + 3 X'_2 I_2^2 = 3(8.15,85^2 + 4.28,11^2) = 15507 \text{ VAR}$$

3) Công suất tiêu tán trên đường dây

$$\Delta P = 3 R_d I^2 = 3.1.43,91^2 = 5748 \text{ W}$$

#### Bài số 4.6.

Mạch ba pha bốn dây có  $U_d = 380 \text{ V}$  cung cấp điện cho 2 động cơ và tải ánh sáng (hình 4.25)

$$\text{Động cơ 1 nối Y có } P_1 = 13 \text{ kW}, \eta_1 = 0,87, \cos \varphi_1 = 0,87 \beta_1 = \frac{I_1}{I_{\text{ldm}}} = 0,85$$

$$\text{Động cơ 2 nối } \Delta \text{ có } P_2 = 10 \text{ KW}, \eta_2 = 0,89, \cos \varphi_2 = 0,87, \beta_2 = 0,95$$

$$\text{Tải ánh sáng có } P_A = 4,4 \text{ kW}, P_B = 6,6 \text{ kW}, P_C = 2,2 \text{ kW}.$$

Tính  $I_A, I_B, I_C$  và  $I_N$ .

### Bài giải

Vì tải ánh sáng không đối xứng nên đây là bài toán mạch ba pha không đối xứng. Trước tiên ta tính dòng điện qua động cơ. Vì động cơ ba pha đối xứng nên dòng các pha như nhau.

$$I_1 = \frac{P_1 \cdot \beta_1}{\sqrt{3} U_d \cos \varphi_1 \cdot \eta_1} = \frac{13 \cdot 10^3 \cdot 0,85}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,87} = 22,19 \text{ A}$$

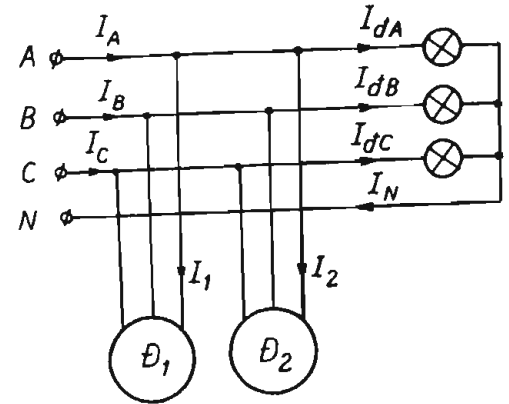
$$I_2 = \frac{P_2 \cdot \beta_2}{\sqrt{3} U_d \cos \varphi_2 \cdot \eta_2} = \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 0,95}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,89} = 74,61 \text{ A}$$

Vì các đèn không đối xứng nên dòng điện các

pha của đèn là:  $I_{dA} = \frac{P_A}{U_p} = \frac{4,4 \cdot 10^3}{220} = 20 \text{ A}$

$$I_{dB} = \frac{P_B}{U_p} = \frac{6,6 \cdot 10^3}{220} = 30 \text{ A}$$

$$I_{dC} = \frac{P_C}{U_p} = \frac{2,2 \cdot 10^3}{220} = 10 \text{ A}$$



Hình 4.25.

Động cơ 1 và 2 có  $\cos \varphi = 0,87$  suy ra  $\sin \varphi = 0,493$ . Ở từng pha  $I_1$  và  $I_2$  trùng pha và chậm sau điện áp pha một góc  $29^\circ 54'$ .

Chọn  $\dot{U}_A = U_p \angle 0^\circ$  suy ra

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= (I_1 + I_2) \cos \varphi - j(I_1 + I_2) \sin \varphi + I_{dA} \\ &= 96,8 \cdot 0,87 - j96,8 \cdot 0,493 + 20 = 104,21 - j47,72 = 114,6 \angle -24^\circ 60' \text{ A} \end{aligned}$$

Chọn  $\dot{U}_B = U_p \angle 0^\circ$  suy ra

$$\begin{aligned} \dot{I}_B &= (I_1 + I_2) \cos \varphi - j(I_1 + I_2) \sin \varphi + I_{dB} \\ &= 96,8 \cdot 0,87 - j96,8 \cdot 0,493 + 30 = 114,21 - j47,72 = 123 \angle -22^\circ 68' \text{ A} \end{aligned}$$

Chọn  $\dot{U}_C = U_p \angle 0^\circ$  suy ra

$$\begin{aligned} \dot{I}_C &= (I_1 + I_2) \cos \varphi - j(I_1 + I_2) \sin \varphi + I_{dC} \\ &= 96,8 \cdot 0,87 - j96,8 \cdot 0,493 + 10 = 94,21 - j47,72 = 105,6 \angle -26^\circ 86' \text{ A} \end{aligned}$$

Nếu chọn  $\dot{U}_A = U_p \angle 0^\circ$ ,  $\dot{U}_B = U_p \angle -120^\circ$ ,  $\dot{U}_C = U_p \angle -240^\circ$  suy ra dòng điện các pha và dòng điện trung tính:  $\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$

$$\begin{aligned} &= 114,6 \angle -24^\circ 60' + 123 \angle -142^\circ 68' + 105,6 \angle -266^\circ 86' \\ &= 104,19 - j47,72 - 97,78 - j74,54 - 9,33 + j105 = 2,92 + j17 = 17,25 \angle 80^\circ 25' \text{ A} \end{aligned}$$

Vậy ta có các dòng điện hiệu dụng

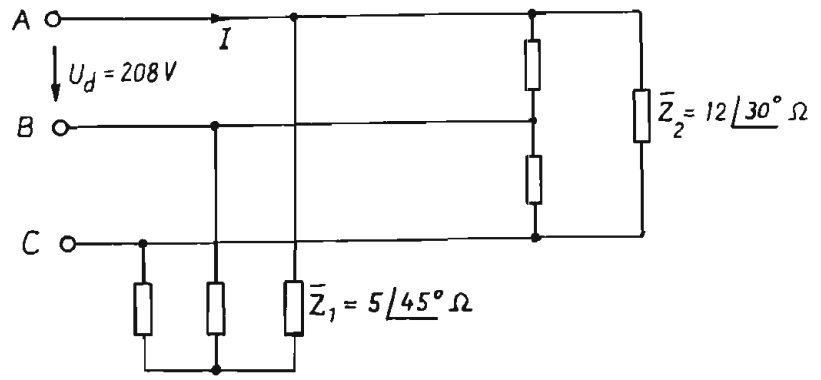
$$I_A = 114,6 \text{ A}, I_B = 123 \text{ A}, I_C = 105,6 \text{ A}, I_N = 17,25 \text{ A}.$$

## BÀI TẬP CHƯƠNG 4

### - Bài số 4.7

Mạch ba pha đối xứng có 2 tải nối hình sao và hình tam giác (hình 4.26). Tính dòng điện trên đường dây I và công suất tiêu thụ của toàn mạch.

Đáp số:  $\dot{I} = 53,6 \angle -36^\circ 6A$   
 $P = 15,500W$



Hình 4.26

### - Bài số 4.8

Cho mạch ba pha không đối xứng tải nối hình sao (hình 4.27).

Tìm dòng điện  $\dot{I}_A$ ,  $\dot{I}_B$ ,  $\dot{I}_C$  và điện áp pha  $\dot{U}_{Ao}$ ,  $\dot{U}_{Bo}$ ,  $\dot{U}_{Co}$  của tải.

Đáp số: Dùng phương pháp dòng điện mạch vòng tính  $\dot{I}_1 = 14,15 \angle 86^\circ 1 A$

$$\dot{I}_2 = 10,15 \angle 52^\circ 7A$$

Suy ra dòng điện các pha của tải

$$\dot{I}_A = \dot{I}_1 = 14,15 \angle 86^\circ 1A$$

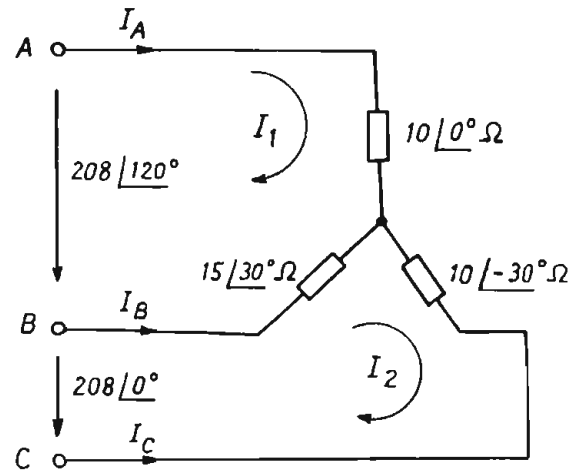
$$\dot{I}_B = \dot{I}_2 - \dot{I}_1 = 8,0 \angle -49^\circ 5A$$

$$\dot{I}_C = -\dot{I}_2 = 10,15 \angle -127^\circ 3A$$

$$\dot{U}_{Ao} = 141,5 \angle 86^\circ 1 V$$

$$\dot{U}_{Bo} = 120 \angle -19^\circ 5 V$$

$$\dot{U}_{Co} = 101,5 \angle -157^\circ 3 V$$



Hình 4.27

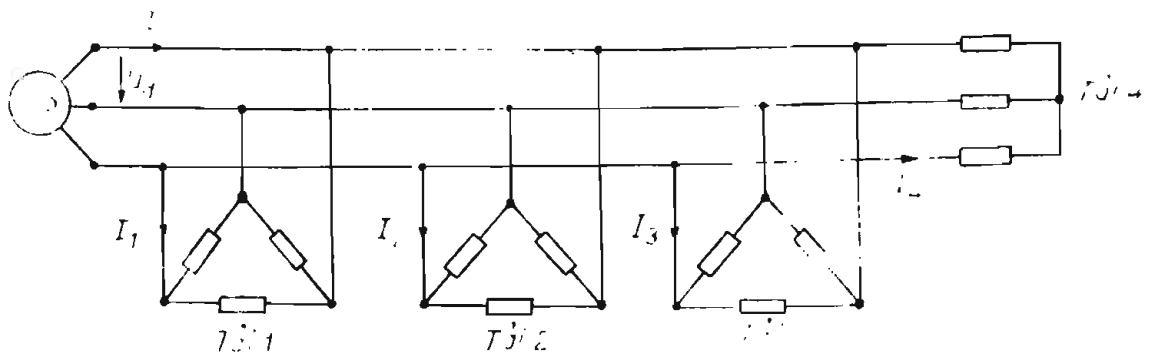
### - Bài số 4.9

Máy phát điện ba pha đối xứng có điện áp dây  $U_d = 1000 V$  cung cấp cho 4 tải đối xứng (hình 4.28)

Tải 1 có  $I_1 = 50A$ ,  $\cos\varphi_1 = 0,8$

Tải 2 có  $P_2 = 70 kW$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,866$

Tải 3 có  $z_3 = 9\Omega$ ,  $X_3 = 7\Omega$



Hình 4.28

Tải 4 có  $z_1 = 6\Omega$ ,  $R_1 = 1\Omega$

Tính dòng điện trên các tải và dòng điện trên đường dây chính. Tính công suất tác dụng  $P$ , công suất phản kháng  $Q$ , công suất biểu kiến  $S$  của toàn mạch.

Đáp số:  $P_1 = 69.2\text{kW}$ ,  $P_2 = 70\text{kW}$ ,  $P_3 = 209\text{kW}$ ,  $P_4 = 27.8\text{kW}$ ,  $P = 376\text{kW}$

$Q_1 = 52\text{kVar}$ ,  $Q_2 = 10.4\text{kVar}$ ,  $Q_3 = 259\text{kVar}$ ,  $Q_4 = 165\text{kVar}$ ,  $Q = 516.4\text{kVar}$ ,

$S_1 = 86.6\text{kVA}$ ,  $S_2 = 80.8\text{kVA}$ ,  $S_3 = 334\text{kVA}$ ,  $S_4 = 167.4\text{kVA}$ ,  $S = 638.8\text{kVA}$

$I = 369\text{A}$ .

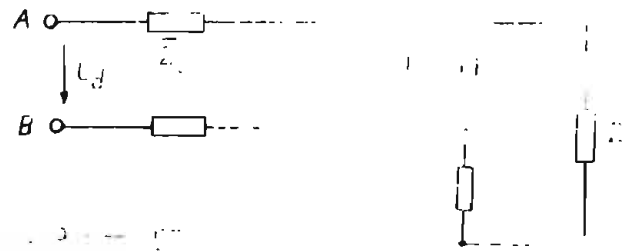
- Bài số 4.10

Mạch ba pha đối xứng tải  $\bar{Z} = 30\angle 30^\circ\Omega$  nối tam giác (hình 4.29) được cung cấp từ nguồn  $U_d = 208\text{V}$ , biết tổng trở đường dây  $\bar{Z}_d = 10\angle 90^\circ\Omega$ . Tính điện áp trên tải.

Đáp số:  $U_t = 189\text{V}$ .

Bài số 4.11

Trên mạch hình 4.29 nếu ta nối song song với tải một bộ tụ điện hình tam giác có dung kháng mỗi pha  $X_C = 20\Omega$ , tính điện áp trên tải.



Đáp số:  $U_t = 204\text{V}$ .

- Bài số 4.12

Mạch ba pha đối xứng tải nối hình sao  $\bar{Z} = 15\angle 60^\circ\Omega$  được cung cấp bởi hệ thống ba pha đối xứng  $U_d = 240\text{V}$  qua đường dây có tổng trở  $\bar{Z}_d = 12 + j10\Omega$ . Tính điện áp trên tải.

Đáp số  $U_t = 213\text{V}$

- Bài số 4.13 Trong bài số 4.12 nếu tải có giá trị  $\bar{Z} = 15\angle -60^\circ\Omega$ , tính điện áp trên tải và so sánh kết quả với bài 4.12

Đáp số:  $U_t = 235\text{V}$ .



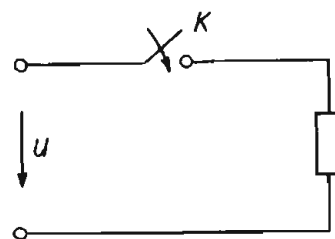
## Chương 5

# QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MẠCH ĐIỆN

### § 5.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ

Trong quá trình vận hành mạch điện thường đóng, cắt nguồn hay phụ tải hoặc thay đổi thông số của mạch. Ta gọi chung là sự đóng mở và ký hiệu sự đóng mở bằng cầu dao K (hình 5.1).

Trong mạch có chứa phần tử tích phóng năng lượng L, C ở mỗi trạng thái mạch có mức năng lượng khác nhau, do đó khi chuyển tiếp từ mức xác lập cũ sang mức xác lập mới đòi hỏi có thời gian để mạch phân bố lại năng lượng. Quá trình quá độ là quá trình chuyển tiếp khi chế độ xác lập cũ bị phá vỡ kéo dài cho đến khi thành lập chế độ xác lập mới.



Hình 5.1.

Thông thường quá trình quá độ ở các thiết bị điện chỉ tồn tại trong khoảng thời gian rất ngắn (cỡ  $10^{-3}$  sec) nhưng dòng điện và điện áp trên các phần tử có quy luật biến thiên phức tạp, có thể xuất hiện quá dòng điện hoặc quá điện áp. Trong một số thiết bị, quá trình quá độ là quá trình làm việc thường xuyên (ví dụ các mạch tạo xung v.v.).

### § 5.2. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CỦA QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ

Trong mạch có chứa phần tử R, L, C phương trình định luật Kiếchốp 2 là phương trình vi phân (PTVP) tuyến tính không thuần nhất:

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt \quad (5.1)$$

Theo lý thuyết PTVP nghiệm tổng quát của nó gồm hai thành phần :

$$i = i_{xl} + i_{td} \quad (5.2)$$

- Thành phần xác lập  $i_{xl}$  là nghiệm riêng của phương trình (5.1) đó là nghiệm xác lập đã nghiên cứu ở các chương trước, nó phụ thuộc vào nguồn và thông số của mạch.

- Thành phần tự do  $i_{td}$  là nghiệm tổng quát của PTVP thuần nhất, nghĩa là

khi không có nguồn, chúng chỉ phụ thuộc vào thông số của mạch và điều kiện ban đầu:

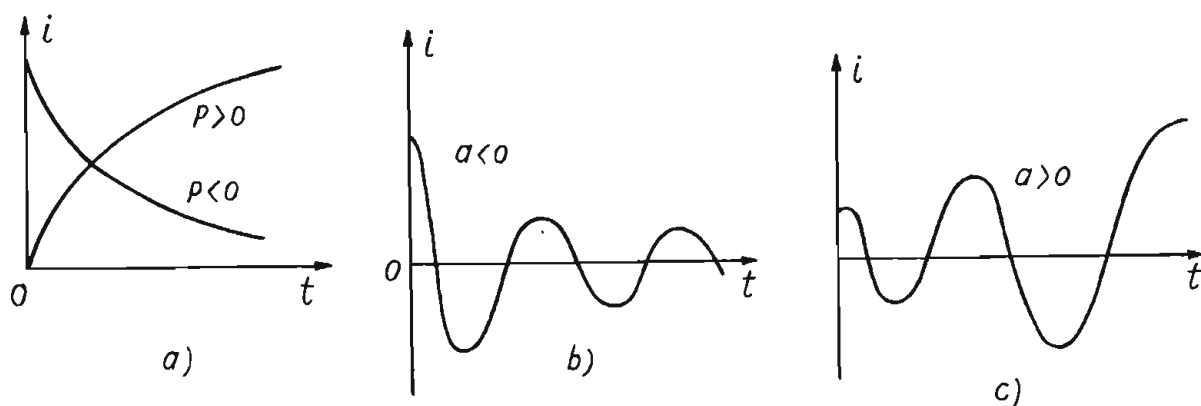
$$Ri_{td} + L \frac{di_{td}}{dt} + \frac{1}{C} \int i_{td} = 0 \quad (5.3)$$

Phương trình đặc trưng của (5.3) có dạng :

$$R + pL + \frac{1}{pC} = 0 \quad (5.4)$$

Nói chung nghiệm tự do có dạng  $i_{td} = Ae^{pt}$  trong đó  $A$  là hằng số tích phân xác định theo điều kiện đầu của bài toán,  $p$  là nghiệm của phương trình đặc trưng gọi là số mũ tắt.

Trị số của  $p$  quyết định dáng điệu của thành phần tự do. Nếu  $p$  là số thực, thành phần tự do sẽ giảm theo hàm số mũ khi  $p < 0$  và tăng khi  $p > 0$  (hình 5.2a).



Hình 5.2.

- Nếu  $p = a \pm j\omega$  là số phức liên hợp thì thành phần tự do sẽ là dao động tắt dần với tần số  $\omega$  nếu  $a < 0$  (hình 5.2b) và là dao động tăng dần nếu  $a > 0$  (hình 5.2c).

Để xác định hằng số tích phân  $A$  ta thường sử dụng các điều kiện ban đầu của bài toán.

Trong mạch có điện cảm  $L$ , dòng điện qua điện cảm tại thời điểm đóng mở không thể biến thiên nhảy vọt, nghĩa là dòng điện ngay sau khi đóng mở  $i_L(+0)$  phải bằng dòng điện ngay trước khi đóng mở  $i_L(-0)$ :

$$i_L(+0) = i_L(-0)$$

Nếu có biến thiên nhảy vọt thì  $\frac{di}{dt} \rightarrow \infty$  khiến cho  $u_L = L \frac{di}{dt}$  tiến tới vô cùng lớn, đó là điều vô lý.

Trong mạch có điện dung  $C$ , điện áp trên tụ điện tại thời điểm đóng mở không thể biến thiên nhảy vọt, nghĩa là điện áp ngay sau khi đóng mở  $u_C(+0)$  phải bằng điện áp ngay trước khi đóng mở  $u_C(-0)$ :

$$u_C(+0) = u_C(-0)$$

Nếu có biến thiên nhảy vọt thì  $\frac{du_C}{dt} \rightarrow \infty$  khiến cho  $i_C = C \frac{du_C}{dt}$  tiến tới vô cùng lớn, đó là điều vô lý.

Sau đây ta sẽ nghiên cứu quá trình quá độ ở một số mạch đơn giản.

## § 5.3. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MẠCH RC

### 5.3.1. Quá trình tự do trong mạch RC

Tụ điện C được nạp với điện áp  $U_0$  rồi phóng qua điện trở R (hình 5.3).

Phương trình định luật Kiếchốp 2 cho mạch là :

$$Ri_{td} + u_{Ctd} = 0 \quad (5.5)$$

trong đó  $i_C = C \frac{du_{Ctd}}{dt}$ , do đó ta có

$$RC \frac{du_{Ctd}}{dt} + u_{Ctd} = 0 \quad (5.6)$$

Phương trình đặc trưng

$$RCp + 1 = 0$$

$$p = -\frac{1}{RC}$$

Tích số RC gọi là hằng số thời gian của mạch RC, điện áp tự do có dạng :

$$u_{Ctd} = Ae^{-t/RC} \quad (5.7)$$

Theo điều kiện ban đầu  $u_C(+0) = A = u_C(-0) = U_0$ , ta có :

$$u_{Ctd} = U_0 e^{-t/RC} \quad (5.8)$$

Dòng điện :

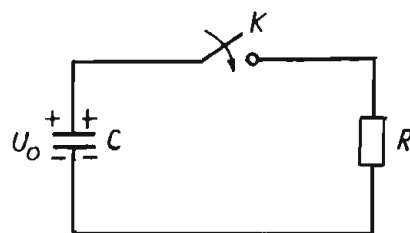
$$i_C = C \frac{du_{Ctd}}{dt} = -\frac{U_0}{R} e^{-t/RC} \quad (5.9)$$

Hình 5.4 vẽ đường cong phóng điện của tụ điện.

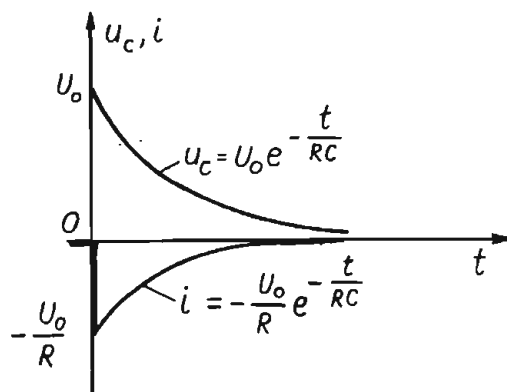
Ta nhận thấy khi phóng điện áp trên tụ giảm dần, còn dòng điện nhảy vọt từ 0 đến  $-\frac{U_0}{R}$  rồi giảm dần.

### 5.3.2. Đóng mạch RC vào điện áp một chiều

Tụ điện có điện dung C được nạp vào nguồn một chiều qua điện trở R (hình 5.3).



Hình 5.3.



Hình 5.4.

Phương trình vi phân của mạch theo định luật Kiếchốp 2 là :

$$Ri + u_C = U \text{ thay } i = C \frac{du_C}{dt}$$

ta có :  $C \frac{du_C}{dt} + u_C = U$  (5.10)

Thành phần tự do  $U_{Ctd} = Ae^{-t/RC}$

Thành phần xác lập  $U_{Cxl} = U$

Điện áp quá độ trên tụ điện

$$u_C = u_{Cxl} + u_{Ctd} = U + Ae^{-t/RC}$$

Theo điều kiện ban đầu :

$$u_C(+0) = U + A = u_C(-0) = U, \text{ suy ra}$$

$$A = -U.$$

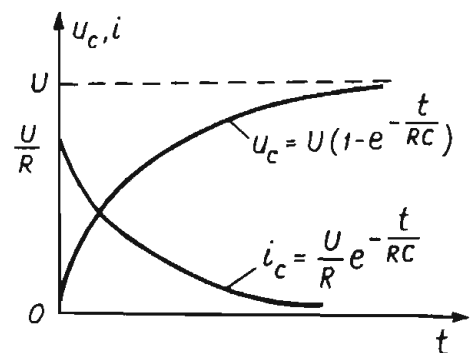
Từ đó ta tìm được điện áp quá độ trên tụ điện :

$$u_C = U(1 - e^{-t/RC}) \quad (5.11)$$

Dòng điện

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5.12)$$

Đường cong điện áp và dòng điện nạp của tụ điện vào điện áp một chiều cho trên hình 5.5.



Hình 5.5

### 5.3.3. Đóng mạch RC vào điện áp hình sin

Khi đóng mạch RC vào điện áp hình sin  $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$  sẽ có điện áp xác lập :

$$u_{Cxl} = \frac{U_m}{z} x_C \sin\left(\omega t + \psi - \varphi - \frac{\pi}{2}\right)$$

trong đó

$$z = \sqrt{R^2 + X_C^2} ; X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (5.13)$$

và thành phần tự do

$$u_{Ctd} = Ae^{-t/RC}.$$

Theo điều kiện ban đầu

$$u_C(+0) = u_C(-0) = 0 \text{ ta có :}$$

$$0 = \frac{U_m}{z} X_C \sin(\omega t + \psi - \varphi - \frac{\pi}{2}) + A$$

Vậy điện áp quá độ trên tụ điện là :

$$u_C = \frac{U_m}{z} X_C [\sin(\omega t + \psi - \varphi - \frac{\pi}{2}) - \sin(\psi - \varphi - \frac{\pi}{2}) e^{-t/RC}] \quad (5.14)$$

Tùy theo thời điểm đóng mở, tức là tùy theo góc pha đầu và điều kiện đầu mà điện áp quá độ có dạng khác nhau.

Nếu đóng mở đúng lúc  $u_{CxI}(0) = 0$  sẽ có  $u_{Ctd} = 0$ , quá trình xác lập sẽ thành lập ngay mà không qua quá độ. Nhưng nếu đóng mở lúc  $u_{CxI}(0) = U_{Cm}$  và nếu quá trình tự do tắt chậm thì sau nửa chu kỳ điện áp trên tụ điện có trị số  $U_C$  có thể gấp đôi biên độ điện áp xác lập, ta gọi đó là sự quá điện áp.

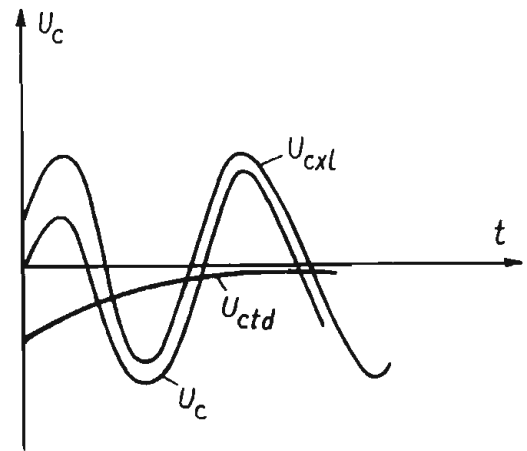
Dòng điện quá độ :

$$i = C \frac{du_C}{dt} = I_m \sin(\omega t + \psi - \varphi) + \frac{I_m}{R\omega C} \sin(\psi - \varphi - \frac{\pi}{2}) e^{-t/RC} \quad (5.15)$$

Vì ở thời điểm đầu  $u_C(0) = 0$ , tụ như bị ngắn mạch, điện áp nguồn hoàn toàn đặt trên điện trở :

$$i(+0) = \frac{u(+0)}{R} = \frac{U_m \sin \psi}{R} \quad (5.16)$$

Nếu đóng mạch RC đúng thời điểm điện áp nguồn là cực đại và điện trở R nhỏ, dòng điện ở thời điểm đầu có thể lớn tạo nên xung quá dòng điện. Đường cong  $u_C$  và  $i_C$  khi đóng vào nguồn hình sin cho trên hình 5.6.



Hình 5.6.

## § 5.4. QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG MẠCH RL

Vì cùng được mô tả bằng phương trình vi phân cấp 1 nên quá trình quá độ RL có nhiều điểm tương tự như mạch RC.

Với thành phần tự do ta có phương trình

$$Ri_{td} + L \frac{di_{td}}{dt} = 0 \quad (5.17)$$

suy ra phương trình đặc trưng :

$$R + pL = 0 \text{ với số mũ } p = -\frac{R}{L}$$

Thành phần  $\frac{L}{R}$  gọi là hằng số thời gian của mạch RL

vậy :  $i_{td} = Ae^{-\frac{R}{L}t}$

Khi đóng mạch cuộn dây vào điện áp một chiều có sơ kiện  $i(0) = 0$  ta có

$$i = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (5.18)$$

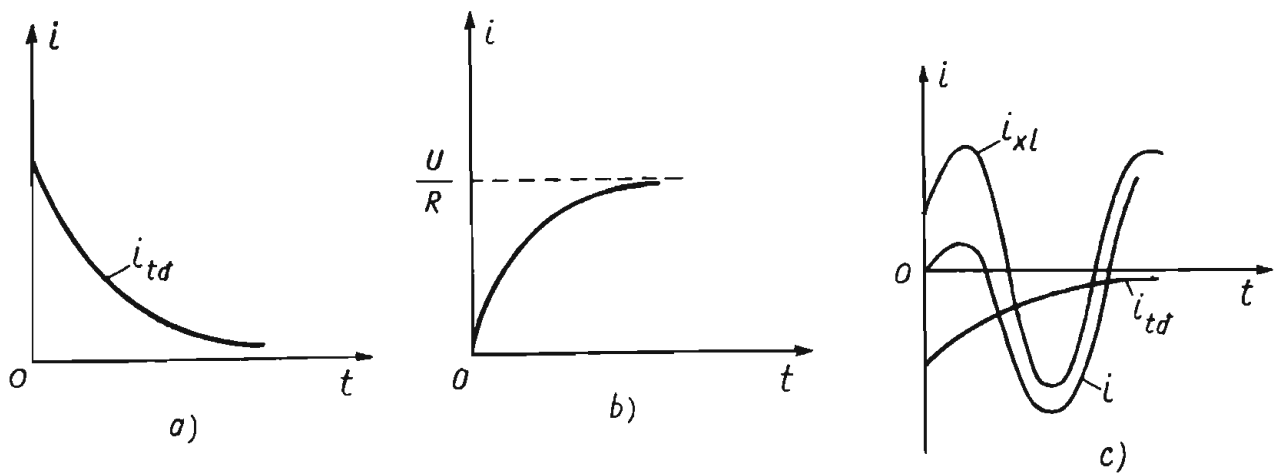
Đóng mạch RL vào nguồn xoay chiều  $u = U_m \sin(\omega t + \psi)$  ta có :

$$i(t) = \frac{U_m}{z} \sin(\omega t + \psi - \varphi) - \frac{U_m}{z} \sin(\psi - \varphi) e^{-\frac{R}{L}t} \quad (5.19)$$

trong đó :

$$z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad \varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$$

Đường cong dòng điện tự do (hình 5.7a), đóng mạch RL vào nguồn một chiều (hình 5.7b), đóng mạch RL vào nguồn xoay chiều cho trên hình 5.7c.



Hình 5.7.

## § 5.5. TÍNH TOÁN QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ BẰNG PHƯƠNG PHÁP TOÁN TỬ

Phương pháp tích phân kinh điển nghiên cứu ở mục trên có ưu điểm là cho thấy rõ hiện tượng vật lý của dòng điện và điện áp quá độ nhưng không tiện dùng cho các mạch phức tạp vì việc giải trực tiếp hệ PTVP sẽ khó khăn, khi bậc của PTVP cao.

Phương pháp toán tử dựa trên biến đổi Laplace cho ta phương pháp tổng quát tính quá trình quá độ trong mạch phức tạp. Sau đây ta sẽ giới thiệu tinh thần cơ bản của phương pháp.

### 5.5.1. Biến đổi Laplace

Gọi  $f(t)$  là hàm gốc, biến đổi Laplace của  $f(t)$  ký hiệu là  $\mathcal{L}[f(t)]$  là tìm hàm ảnh

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(p) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-pt} dt \quad (5.20)$$

trong đó  $p$  là số phức  $p = \sigma + j\omega$ .

Tính chất cơ bản của biến đổi Laplace là :

- Ảnh của đạo hàm hàm gốc

$$\mathcal{L}[f'(t)] = \int_0^\infty \frac{d}{dt} f(t) e^{-pt} dt$$

Dùng công thức tích phân phân đoạn có :

$$\begin{aligned} \int_0^\infty \frac{df(t)}{dt} e^{-pt} dt &= f(t)e^{-pt} \Big|_0^\infty + p \int_0^\infty f(t) e^{-pt} dt = \\ &= pF(p) - f(0). \end{aligned} \tag{5.21}$$

Ảnh của đạo hàm hàm gốc bằng hàm ảnh nhân p.

- Tích phân của hàm gốc

$$\mathcal{L}\left[\int_0^t f(t) dt\right] = \frac{F(p)}{p} \tag{5.22}$$

Tính chất này rút ra trực tiếp từ công thức (5.21).

Ảnh của tích phân hàm gốc bằng hàm ảnh chia cho p.

Nhờ hai tính chất quan trọng của biến đổi Laplace ta chuyển phương trình vi tích phân theo hàm gốc thành phương trình đại số với ảnh F(p).

Ứng dụng các tính chất cơ bản của biến đổi Laplace ta có được bảng sau

Hàm gốc f(t)	Hàm ảnh F(p)
1	$\frac{1}{p}$
$e^{\pm at}$	$\frac{1}{p \pm a}$
$t.e^{-at}$	$\frac{1}{(p + a)^2}$
$\sin\omega t$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$
$\cos\omega t$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$
$\sin(\omega t + \varphi)$	$\frac{p\sin\varphi + \omega\cos\varphi}{p^2 + \omega^2}$
$\cos(\omega t + \varphi)$	$\frac{p\cos\varphi - \omega\sin\varphi}{p^2 + \omega^2}$

Ngược lại nếu biết ảnh  $F(p) = \frac{P_1(p)}{P_2(p)}$  ta có thể tìm gốc theo công thức

$$f(t) = \sum_{k=1}^n \frac{P_1(p_k)}{P'_2(p_k)} e^{p_k t} \quad (5.23)$$

ở đây  $P'_2(p_k)$  là đạo hàm của đa thức  $P_2(p)$  tại điểm  $p = p_k$ .

### 5.5.2. Định luật Kiếchốp dạng toán tử

- Định luật Kiếchốp 1

Từ biểu thức  $\sum i = 0$  suy ra  $\sum I(p) = 0$

- Định luật Kiếchốp 2

Cho mạch vòng kín gồm R-L-C nối tiếp đặt vào điện áp  $u$  ta có

$$u = ri + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i dt + u_C(0)$$

Biến đổi Laplace ta được

$$U(p) = I(p) \left[ R + pL + \frac{1}{pC} \right] + \frac{u_C(0)}{p} + Li(0),$$

từ đó suy ra

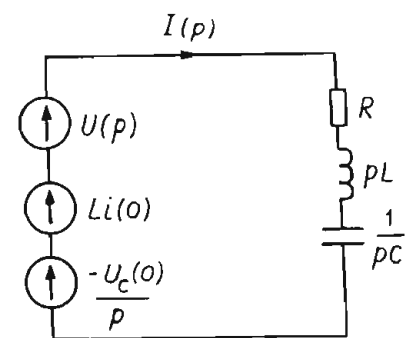
$$I(p) = \frac{U(p) - \frac{u_C(0)}{p} + Li(0)}{R + pL + \frac{1}{pC}} \quad (5.24)$$

Công thức (5.24) tương ứng với sơ đồ toán tử hình 5.8. Trong sơ đồ hình 5.8 có mặt của  $Li(0)$

và  $-\frac{u_C(0)}{p}$  đặc trưng cho điều kiện đầu của bài toán.

Sơ đồ hình 5.8 gọi là sơ đồ toán tử.

Ta nhận thấy hai phương trình Kiếchốp 1 và Kiếchốp 2 dạng toán tử là các phương trình đại số với toán tử  $p$ . Vì thế ta có thể áp dụng tất cả phương pháp đã nghiên cứu ở mạch xác lập cho mạch ở chế độ quá độ với các ảnh.



Hình 5.8.

### 5.5.3. Thuật toán tính quá trình quá độ bằng phương pháp toán tử

1. Lập sơ đồ toán tử trong đó nguồn  $e(t)$  thay bằng  $E(p)$ , tính sức điện động toán tử trong  $Li(0)$  và  $-\frac{u_C(0)}{p}$  theo sơ kiện bài toán. Điện cảm  $L$  thay bằng  $pL$ , điện dung  $C$  thay bằng  $\frac{1}{pC}$ .

- Giải sơ đồ toán tử theo các phương pháp quen biết tìm  $I(p)$

- Dùng biến đổi ngược tìm hàm gốc  $i(t)$ .



Ví dụ. Tụ  $C = 100 \mu\text{F}$  được nạp ban đầu  $U_C(0) = 20 \text{ V}$ , rồi đóng vào nguồn một chiều  $U = 100 \text{ V}$  qua điện trở  $R = 1 \text{ k}\Omega$  (hình 5.9a). Xác định dòng điện nạp.

Bài giải.

Ta sử dụng phương pháp toán tử. Lập sơ đồ toán tử bằng cách thay điện áp nguồn  $U$  bằng  $\frac{U}{p}$ , sđđ toán tử trong bằng  $-\frac{u_C(0)}{p}$ ,  $C$  bằng  $\frac{1}{pC}$  kết quả ta có đồ hình 5.9b.

Theo sơ đồ hình 5.9b ta có ảnh  $I(p)$  là :

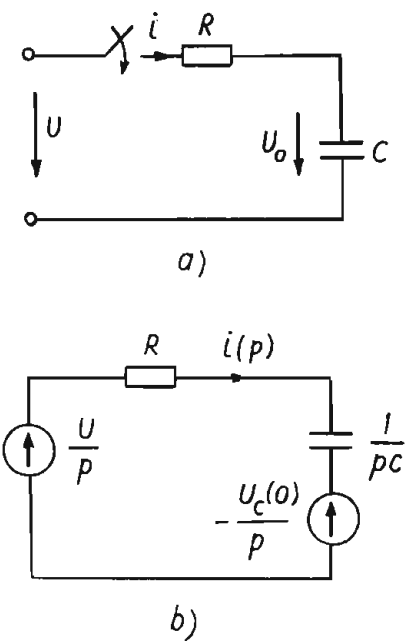
$$I(p) = \frac{U - U_C(0)}{p \left( R + \frac{1}{pC} \right)} = \frac{U - U_C(0)}{R \left( p + \frac{1}{pC} \right)}$$

Nghiệm của mẫu số

$$p = - \frac{1}{RC} = \frac{1}{1 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^6} = -10$$

Theo bảng ảnh gốc ta tìm được

$$i(t) = \frac{U - U(0)}{R} e^{-pt} = 80.e^{-10t} \text{ mA}.$$



Hình 5.9.

Bảng tóm tắt chương 5

Phương pháp	Thuật toán
Tích phân kinh điển	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tìm <math>i = i_{xl} + i_{td}</math></li> <li>- Tính dòng điện xác lập <math>i_{xl}</math></li> <li>- Tìm sơ kiện <math>i_L(+0), u_C(+0)</math> theo điều kiện đầu</li> <li>- Lập phương trình vi phân của mạch</li> <li>- Đại số hoá PTVP tìm <math>p</math></li> <li>- <math>i_{td} = A e^{pt}</math></li> <li>- Theo sơ kiện xác định <math>A</math>.</li> </ul>
Toán tử	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tìm sơ kiện <math>i_L(+0), u_C(+0)</math> theo điều kiện đầu</li> <li>- Lập sơ đồ toán tử bằng cách thay <math>e(t) \rightarrow E(p)</math>, tính đến sđđ toán tử trong <math>i_L(0)</math> và <math>-\frac{u_C(0)}{p}</math>. Thay <math>L</math> bằng <math>pL</math>, <math>C</math> bằng <math>\frac{1}{pC}</math></li> <li>- Giải sơ đồ toán tử tìm <math>I(p)</math></li> <li>- Dùng biến đổi ngược tìm <math>i(t)</math></li> </ul>

## CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 5

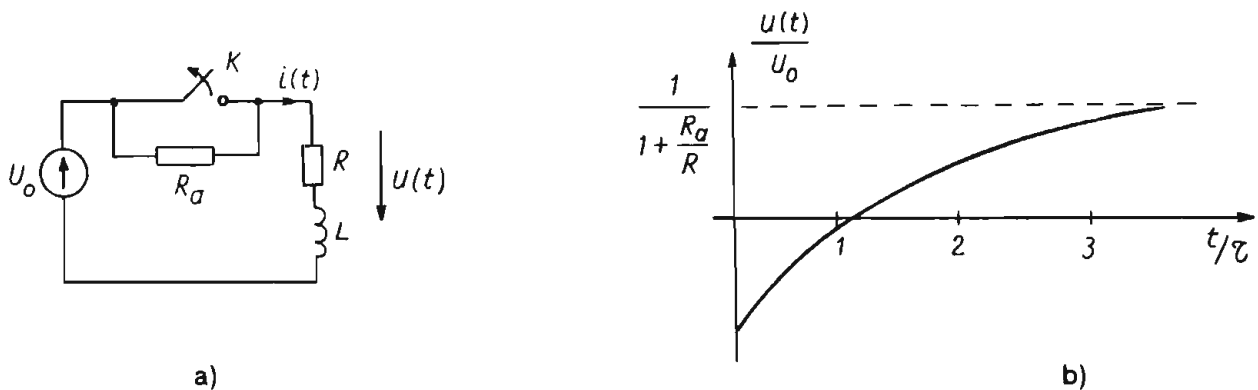
1. Ý nghĩa của quá trình quá độ trong mạch điện
2. Nội dung bài toán tính quá độ bằng phương pháp tích phân kinh điển
3. Nội dung bài toán tính quá trình quá độ bằng phương pháp toán tử
4. So sánh ưu khuyết điểm của phương pháp toán tử và phương pháp tích phân kinh điển

## BÀI TẬP CHƯƠNG 5

### Bài số 5.1.

Khi cắt đột ngột cuộn dây có điện cảm  $L$  và điện trở  $R$  dòng điện không mất đi đột ngột. Trên các cực của khoá  $K$  có sinh ra tia lửa, đặc trưng bởi điện trở  $R_a$  (hình 5.10a).

Tìm dòng điện và điện áp quá độ trong cuộn dây.



Hình 5.10.

### Bài giải

Dòng điện quá độ  $i(t)$  gồm 2 thành phần :  $i = i_{xl} + i_{td}$

- Dòng điện xác lập  $i_{xl} = \frac{U}{R + R_a}$

- Dòng điện tự do  $i_{td} = Ae^{-t/\tau}$

Sau khi ngắt khoá  $K$ , dòng điện thoả mãn phương trình

$$L \frac{di}{dt} + (R + R_a)i = 0$$

Phương trình đặc trưng  $pL + R + R_a = 0$ , suy ra

$$p = -\frac{R + R_a}{L}$$

hằng số thời gian  $\tau = \frac{1}{p} = -\frac{L}{R + R_a}$

Dòng điện quá độ  $i(t) = \frac{U}{R + R_a} + Ae^{-t/\tau}$

Dòng điện quá độ thoả mãn điều kiện đầu :

$$i(0) = \frac{U_o}{R_a + R} + A ,$$

suy ra hằng số tích phân  $A = \frac{U_o}{R} - \frac{U_o}{R_a + R} .$

Cuối cùng ta tìm được dòng điện quá độ

$$i(t) = \frac{U_o}{R_a + R} + \left( \frac{U_o}{R} - \frac{U_o}{R_a + R} \right) e^{-t/\tau}$$

Điện áp trên cực cuộn dây

$$u(t) = Ri + L \frac{di}{dt} = U_o - R_a i$$

Để xét quá điện áp trên cuộn dây ta xét tỉ số  $\frac{u(t)}{U_o}$

$$\frac{u(t)}{U_o} = \frac{1}{1 + \frac{R_a}{R}} \left[ 1 - \left( \frac{R_a}{R} \right)^2 e^{-t/\tau} \right]$$

Quá điện áp xuất hiện khi  $t = 0$

$$\left| \frac{u(0)}{U_o} \right| = 1 - \frac{R_a}{R}$$

nó có thể chọc thủng cách điện của cuộn dây nếu  $R_a$  lớn.

Đồ thị  $\frac{u(t)}{U_o}$  cho trên hình 5.10b.

### Bài số 5.2.

Trên sơ đồ hình 5.10a đóng khoá  $K_1$  tại thời điểm  $t = 0$ . Sau thời gian  $t_1$  khoá  $K_2$  được đóng lại.

Tìm dòng điện quá độ  $i$  trong cuộn dây.

Biết  $U_o = 12 \text{ V}$ ,  $R = 4 \Omega$ ,  $R_1 = 2 \Omega$ .  $L = 1\text{H}$ ,  
 $t = 0,1\text{s}$ .

*Bài giải*

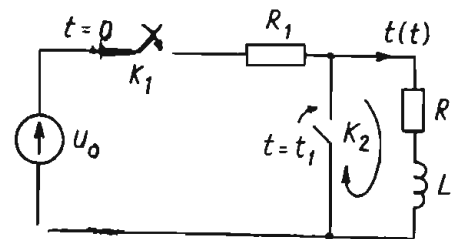
Khi khoá  $K_1$  đóng  $K_2$  mở ta có phương trình

$$L \frac{di}{dt} + (R + R_1)i = U_o$$

với điều kiện đầu  $i(0) = 0$

Giải phương trình vi phân với điều kiện đầu ta có :

$$i(t) = \frac{U}{R + R_1} \left( 1 + e^{-\frac{R + R_1}{L} t} \right)$$



Hình 5.10a

Tại thời điểm đóng khoá  $K_2$  dòng điện qua cuộn dây đạt giá trị :

$$i(t_1) = \frac{U}{R + R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R + R_1}{L} t_1} \right)$$

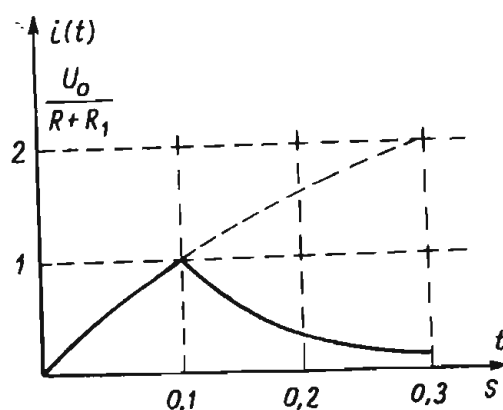
là điều kiện đầu cho dòng điện từ thời điểm  $t > t_1$ . Xét mạch vòng trên hình 5.11a ta có phương trình :

$$L \frac{di}{dt} + R_1 i = 0$$

Giải phương trình này ta có :

$$\begin{aligned} i(t) &= i(t_1) e^{-\frac{R}{L}(t - t_1)} = \\ &= \frac{U_0}{R + R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R + R_1}{L} t_1} \right) e^{-\frac{R}{L}(t - t_1)} \end{aligned}$$

Hình 5.11b.



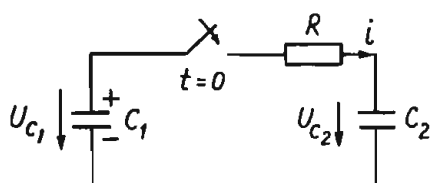
Thay số ta được :

$$i(t) = \begin{cases} \frac{U_0}{R + R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R + R_1}{L} t_1} \right) = 2(1 - e^{-6t}) & \text{ khi } t \geq 0,1s \\ \frac{U_0}{R + R_1} \left( 1 - e^{-\frac{R + R_1}{L} t_1} \right) e^{-\frac{R}{L}(t - t_1)} = 0,9 e^{-4(t - 0,1)} & \end{cases}$$

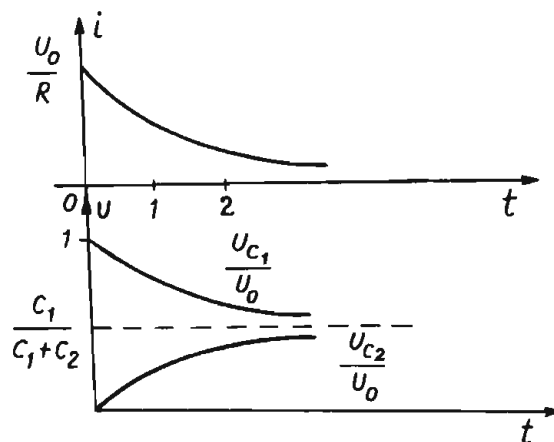
đồ thị dòng điện quá độ qua cuộn dây cho trên hình 5.11b.

### Bài số 5.3.

Tụ  $C_1 = 4\mu F$  được nạp tới điện áp  $U_0 = 100 V$  rồi đóng vào mạch  $RC_2$  nối tiếp (hình 5.12a). Biết  $R = 100 k\Omega$ ,  $C_2 = 6\mu F$ . Tính điện áp và dòng điện quá độ.



a)



b)

Hình 5.12.

### Bài giải

Phương trình vi phân viết theo định luật Kiếchốp 2 :

$$-u_{C1} + Ri + u_{C2} = 0 \quad (1)$$

$$\text{trong đó } i = -C_1 \frac{du_{C1}}{dt} = C_2 \frac{du_{C2}}{dt} \quad (2)$$

Đạo hàm phương trình (1) rồi thế vào (2) ta được :

$$R \frac{di}{dt} + \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) i = 0.$$

Đây là phương trình vi phân có nghiệm tổng quát

$$i = A e^{\frac{-t}{\tau}}$$

$$\text{với } \tau = RC_{12}, C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Theo điều kiện đầu  $u_{C1}(0) = U_0$  và  $u_{C2}(0) = 0$

$$\text{suy ra } i(0) = \frac{U_0}{R} = 10^{-3} \text{A}$$

$$\text{vậy } i(t) = \frac{U_0}{R} e^{\frac{-t}{\tau}} = 10^{-3} e^{\frac{-t}{0,24}}$$

Để tìm  $u_{C1}$  ta tích phân phương trình 2

$$\begin{aligned} u_{C1} &= U_0 - \frac{1}{C_1} \int_0^t i dt = U_0 \frac{C_1}{C_1 + C_2} + U_0 \frac{C_2}{C_1 + C_2} e^{\frac{-t}{\tau}} = \\ &= 40 + 60 e^{\frac{-t}{0,24}} \text{ V.} \end{aligned}$$

$$u_{C2} = \frac{1}{C_2} \int_0^t i dt = U_0 \frac{C_1}{C_1 + C_2} (1 - e^{\frac{-t}{\tau}}) = 40(1 - e^{\frac{-t}{0,24}}) \text{ V.}$$

#### Bài số 5.4.

Cho mạch điện hình 5.13, biết  $E = 21\text{V}$ ,  $R_1 = 100\Omega$ ,  $R_2 = 200\Omega$ ,  $C = 500 \mu\text{F}$ . Tính các dòng điện và điện áp quá độ  $i_1(t)$ ,  $i_2(t)$ ,  $i_3(t)$  và điện áp  $u_C(t)$  sau khi đóng khoá K.

#### Bài giải

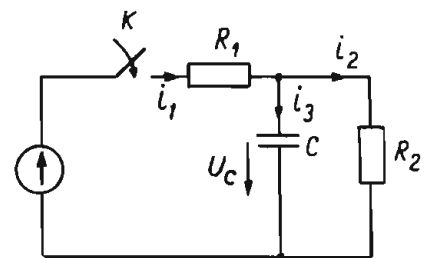
Ta giải bằng phương pháp tích phân kinh điển

$$i = i_{xl} + i_{td}$$

Vì dòng điện một chiều không qua tụ điện suy ra  $i_{3xl} = 0$  :

$$i_{1xl} = i_{2xl} = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{21}{300} = 0,07\text{A}$$

Phương trình các dòng điện tự do  $R_1 i_{1td} + u_{Ctd} = 0$



Hình 5.13.

$$u_{Ctd} = R_2 i_{2td} = \frac{C du_{ctd}}{dt}, \quad i_{1td} = i_{2td} + i_{3td}$$

Rút ra phương trình :

$$\frac{R_1}{R_2} u_{ctd} + C \frac{du_{Ctd}}{dt} + u_{td} = 0$$

$$R_1 R_2 C \frac{du_{Ctd}}{dt} + (R_1 + R_2) u_{Ctd} = 0.$$

Nghiệm của phương trình đặc trưng :

$$p = - \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 C} = -30$$

vậy nghiệm  $u_{Ctd} = Ae^{-\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 C} t}$

Theo điều kiện đầu  $u_C(-0) = u_C(0) = 0$

suy ra  $0 = 14 + A$  và  $A = -14$ .

Thay số ta tìm được  $u_{Ctd} = -14e^{-30t}$  V

$$i_{2td} = \frac{u_{Ctd}}{R_2} = -0,07e^{-30t} \text{ A}$$

$$i_{3td} = C \frac{du_{ctd}}{dt} = 0,21e^{-30t} \text{ A}$$

$$i_{1td} = i_{2td} + i_{3td} = 0,14e^{-30t} \text{ A}$$

Cuối cùng ta được :

$$u_C(t) = u_{Cx} + u_{Ctd} = 14(1 - e^{-30t}) \text{ V}$$

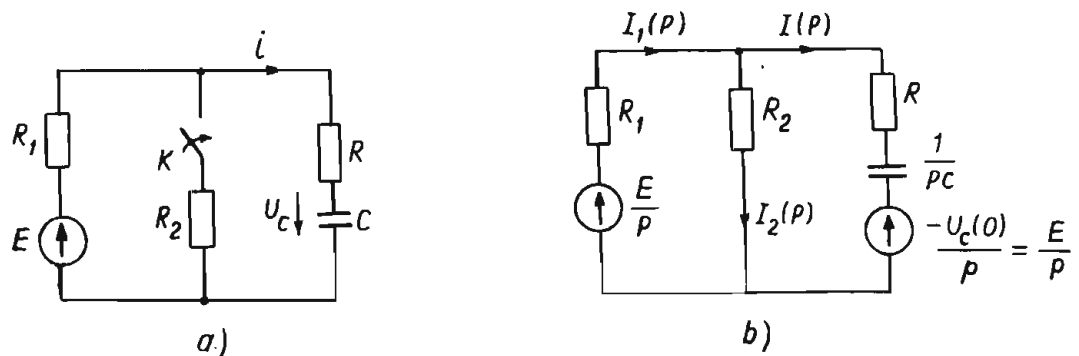
$$i_1(t) = 0,07 + 0,14e^{-30t} \text{ A}$$

$$i_2(t) = 0,07(1 - e^{-30t}) \text{ A}$$

$$i_3(t) = 0,21e^{-30t} \text{ A}.$$

### Bài số 5.5.

Xác định dòng điện quá độ  $i(t)$  và điện áp  $u_C(t)$  sau khi đóng khoá k (hình 5.14a) .



Hình 5.14.

Biết  $E = 48 \text{ V}$ ,  $R = 20 \text{ } \Omega$ ,  $R_1 = 50 \text{ } \Omega$ ,  $R_2 = 100 \text{ } \Omega$ ,  $C = 3 \text{ } \mu\text{F}$ .

*Bài giải*

Sơ đồ toán tử của mạch cho trên hình 5.14b. Theo điều kiện đầu  $u_C(0) = E$  ta có sđđ toán tử trong là  $\frac{E}{p}$ .

Phương trình định luật Kiếchốp 2 với dòng điện toán tử là :

$$R_1I_1(p) + R_2I_2(p) = \frac{E}{p}$$

$$\left(R + \frac{1}{pC}\right)I(p) - R_2I_2(p) = -\frac{E}{p}$$

$$I_1(p) = I_2(p) + I(p)$$

suy ra

$$I(p) = -\frac{ER_1}{RR_1 + RR_2 + R_1R_2} \cdot \frac{1}{p + \frac{R_1 + R_2}{C(RR_1 + RR_2 + R_1R_2)}} = -0,3 \cdot \frac{1}{p + 6250}$$

Vậy dòng điện gốc là

$$i(t) = -0,3e^{-6250t}\text{A}$$

Điện áp trên cực của tụ điện là :

$$u_C(t) = E + \frac{1}{C} \int_0^t idt = 32 + 16e^{-6250t} \text{ V}.$$

**Bài số 5.6.**

Xác định dòng điện quá độ  $i_1(t)$  sau khi đóng K (hình 5.15a) biết  $E = 60\text{V}$ ,

$$R_1 = R_2 = R_3 = 10\Omega, L = 1\text{H}$$

*Bài giải*

Ta dùng phương pháp toán tử

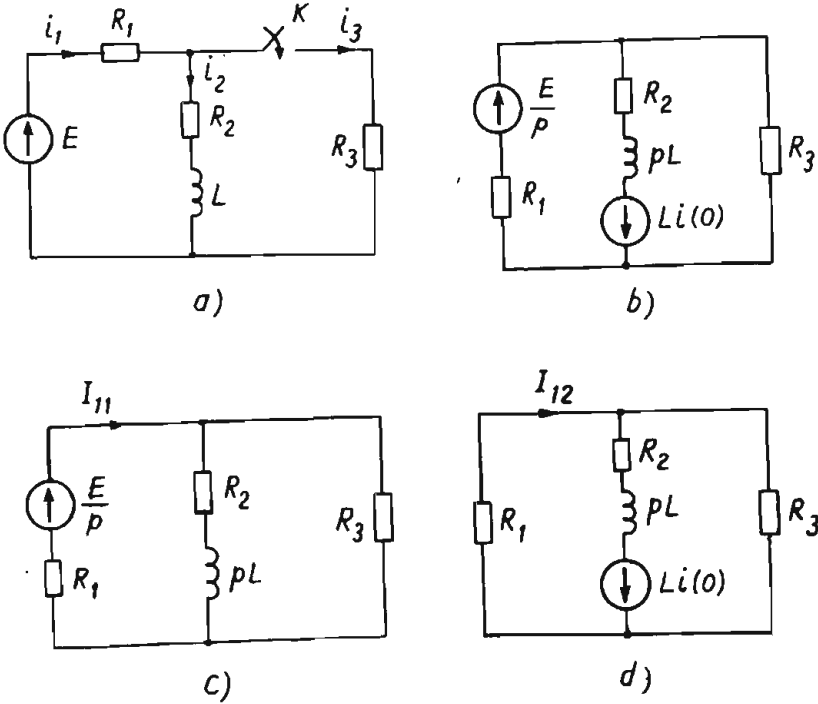
Đầu tiên tính

$$i_L(+0) = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{60}{20} = 3\text{A}$$

Sđđ toán tử trong  $Li(+0) = 13 = 3$

$$\text{Vì } E = 60 \text{ V} \rightarrow E(p) = \frac{60}{p}$$

Sơ đồ toán tử như hình 5.15b. Ta giải sơ đồ 5.15b bằng phương pháp xếp chồng. Cho  $Li(0) = 0$  có sơ đồ hình 5.15c.



Hình 5.15.

Suy ra

$$I_{11} = \frac{\frac{E}{p}}{R_1 + \frac{R_3(R_2 + pL)}{R_3 + R_2 + pL}} = \frac{60(R_2 + R_3 + pL)}{p[R_1(R_2 + R_3 + pL) + R_3(R_2 + pL)]} =$$

$$= \frac{3(20 + p)}{p(15 + p)}$$

cho  $\frac{E}{p} = 0$  theo sơ đồ hình 5.15d có :

$$I_{12} = \frac{Li(o)}{R_2 + pL + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{1,5}{15 + p}$$

Xếp chồng kết quả ta được ảnh

$$I_1(p) = I_{11} + I_{12} = \frac{3(20 + p)}{p(15 + p)} + \frac{1,5}{15 + p}$$

Cuối cùng ta tìm gốc  $i(t)$

Theo bảng ảnh gốc ta có  $\frac{1,5}{15 + p} \rightarrow 1,5e^{-15t}$

$$\frac{F_1(p)}{F_2(p)} = \frac{3(20 + p)}{p(15 + p)}$$

Mẫu số  $F_2(p)$  có hai nghiệm  $p_1 = 0$  và  $p_2 = -15$

$$F'_2(p) = 15 + p + p$$

Vậy  $\frac{F_1(p)}{F_2(p)} \rightarrow \frac{F_1(o)}{F'_2(o)} = \frac{60}{15} = 4$

$$\frac{F_1(-15)}{F'_2(-15)} e^{-15t} = -e^{-15t}$$

Vậy  $i(t) = 4 + 1,5e^{-15t} - e^{-15t} = 4 + 0,5e^{-15t} \text{ A.}$



## BÀI TẬP CHƯƠNG 5

### - Bài số 5.7

Mạch R - L nối tiếp có  $R = 50\Omega$ ,  $L = 10H$  được đóng vào nguồn một chiều  $U = 100V$ . Tính:

- Dòng điện quá độ, điện áp  $u_R$  và  $u_L$
- Dòng điện tại thời điểm  $t = 0,5s$ .
- Thời điểm khi  $u_R = u_L$

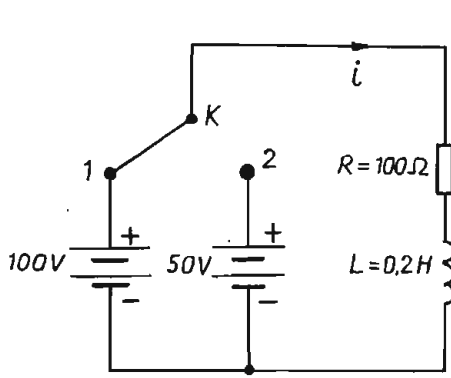
Đáp số: a)  $i = 2(1 - e^{-5t})$ ; b)  $i = 1,836A$ ; c)  $t = 0,1386s$

$$u_R = 100(1 - e^{-5t})$$

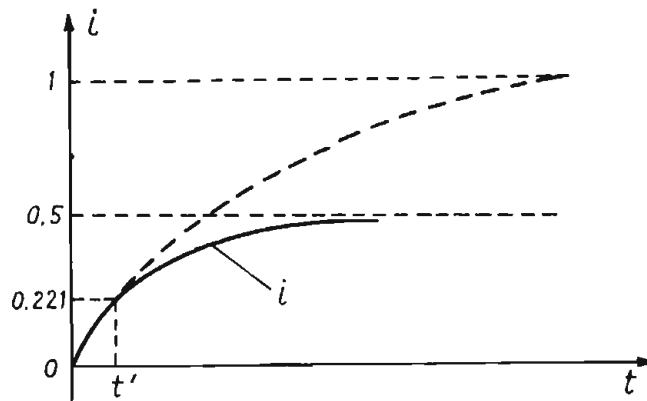
$$u_L = 100e^{-5t}$$

### - Bài số 5.8

Cho mạch hình 5.16a. Tại thời điểm  $t = 0$  khóa K ở vị trí 1, tại thời điểm  $t' = 500 \mu s$  khóa K chuyển qua vị trí 2. Tìm biểu thức dòng điện giữa hai thời điểm và biểu diễn dòng điện quá độ theo thời gian.



Hình 5.16a



Hình 5.16b

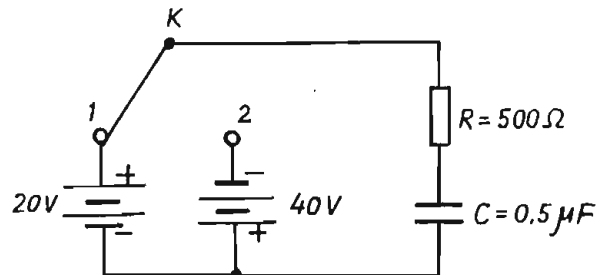
Đáp số:  $i = -0,279e^{-500(t-t')} + 0,5$

Đường biểu diễn dòng điện quá độ cho trên hình 5.16b.

### - Bài số 5.9

Mạch R - C nối tiếp  $R = 5000\Omega$ ,  $C = 20\mu F$  được đóng vào nguồn một chiều  $U = 100V$ . Ban đầu tụ chưa nạp. Tìm biểu thức  $i$ ,  $u_R$ ,  $u_C$ .

Đáp số:  $i = 0,02e^{-10t}$ ,  $u_R = 100e^{-10t}$ ,  $u_C = 100(1 - e^{-10t})$



Hình 5.17

### - Bài số 5.10

Mạch R - C nối tiếp (hình 5.17). Đầu tiên khóa K ở vị trí 1. Sau một hằng số thời gian

$\tau = RC$  khóa K chuyển sang vị trí 2.

Tìm dòng điện quá độ

Đáp số:  $0 < T < \tau$

$$i = 0,04e^{-4000t}$$

$t > \tau$

$$i = -0,1053e^{-4000(t-\tau)}$$

#### Bài số 5.11

Mạch R - L - C nối tiếp  $R = 3000\Omega$ ,  $L = 10H$ ,  $C = 200\mu F$ , ban đầu tụ chưa nạp, được dùng vào nguồn một chiều  $U = 50V$ . Tìm dòng điện quá độ và giá trị cực đại của dòng điện.

Đáp số:  $i = 0,0168e^{-1,67t} - 0,0168e^{-298,3t}$

$$I_{\max} = 0,0161A \text{ tại } t = 0,0175s$$

#### Bài số 5.12

Mạch R - L nối tiếp có  $R = 50\Omega$ ,  $L = 0,24$  được dùng vào nguồn  $u = 150 \sin(500t + \Phi)$  tại thời điểm  $\Phi = 0$ . Tìm dòng điện quá độ trong mạch.

Đáp số:  $i = 1,2e^{-250t} + 1,34\sin(500t - 0,35\pi)$

#### Bài số 5.13

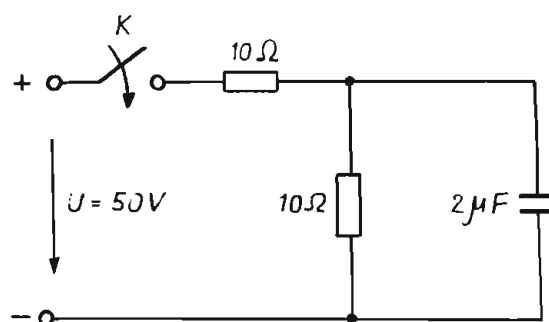
Mạch R - C nối tiếp có  $R = 100\Omega$ ,  $C = 25\mu F$  được đóng vào nguồn hình sin  $u = 250 \sin(500t + \Phi)$  tại thời điểm  $\Phi = 0$ , ban đầu tụ chưa nạp. Tính dòng điện quá độ.

Đáp số:  $i = 1,22e^{-400t} + 1,955\sin(500t + 0,215\pi)$

#### Bài số 5.14

Tìm điện áp quá độ  $u_C$  trong mạch hình 5.18. Ban đầu tụ chưa nạp.

Đáp số:  $u_C = 25(1 - e^{-105t})$



Hình 5.18

## Chương 6

# MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

## § 6.1. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MẠCH ĐIỆN PHI TUYẾN

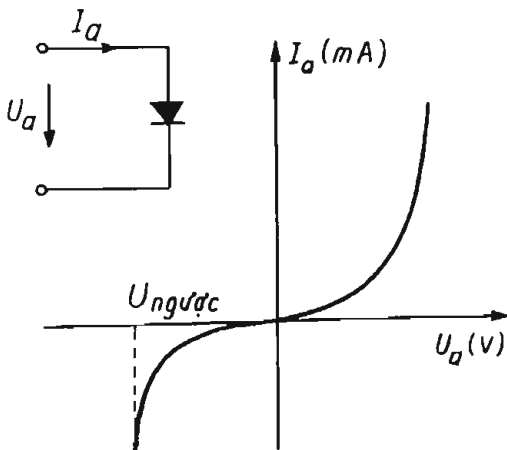
### 6.1.1. Các phần tử và đặc tính phi tuyến

Trong các chương trước ta xét mạch điện chứa các phần tử tuyến tính, đó là mạch chứa các thông số  $r$ ,  $L$ ,  $C$  không đổi, không phụ thuộc vào dòng điện hoặc điện áp. Đặc tính vôn-ampe  $U(I)$  hoặc  $I(U)$  là các đường thẳng.

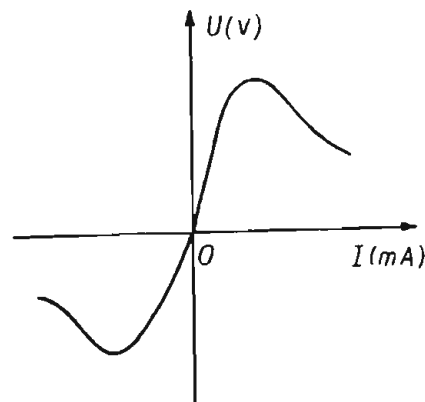
Trong thực tế cũng thường gặp các phần tử có thông số  $r$ ,  $L$ ,  $C$  biến đổi phụ thuộc vào dòng điện hay điện áp, đó là các phần tử phi tuyến. Để đặc trưng cho các phần tử phi tuyến người ta dùng các đường đặc tính  $U(I)$  hoặc  $I(U)$ .

Hình 6.1 là đặc tính  $U(I)$  của một diốt. Nhìn vào đồ thị ta thấy điện trở của diốt phụ thuộc vào trị số và chiều của điện áp đặt vào.

Hình 6.2 vẽ đặc tính  $U(I)$  của điện trở nhiệt (thermistor). Đó là chất bán dẫn có điện trở phụ thuộc vào nhiệt độ.



Hình 6.1.



Hình 6.2.

Hình 6.3 là đặc tính từ thông dòng điện  $\psi(i)$  của cuộn dây có lõi thép. Khi từ hoá bằng dòng điện lớn đặc tính  $\psi(i)$  cũng là phi tuyến vì khi dòng điện từ hoá đủ lớn, mạch từ trở nên bão hòa. Điện cảm của cuộn dây  $L = \frac{\psi}{I}$  giảm theo dòng điện từ hoá.

Hình 6.4 là đặc tính điện tích - điện áp  $q(u)$  của tụ điện có điện môi sécnet hoặc titanát-bari. Đặc tính này có dạng đường cong trễ.

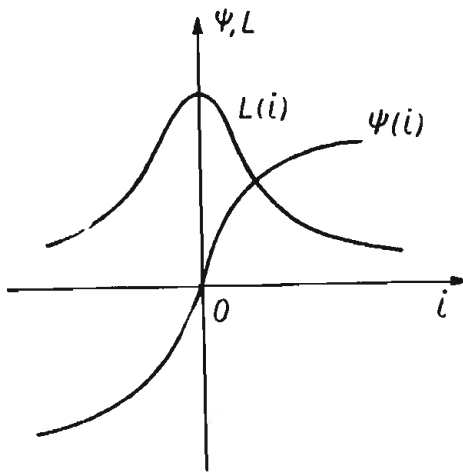
Đối với các phần tử phi tuyến, ngoài các thông số tĩnh  $R = \frac{U}{I}$ ,  $L = \frac{\psi}{I}$ ,  $C = \frac{q}{i}$  như đã xét ở phần tuyến tính, người ta dùng khái niệm thông số động được định nghĩa như sau :

$$\text{Điện trở động } R_d = \frac{du}{di} \quad (6.1)$$

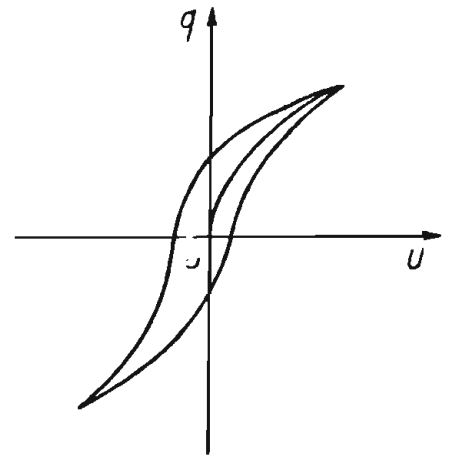
$$\text{Điện cảm động } L_d = \frac{d\psi}{di} \quad (6.2)$$

$$\text{Điện dung động } C_d = \frac{dq}{du} \quad (6.3)$$

Vì các đặc tính đã nêu ở trên là phi tuyến nên các thông số động  $R_d$ ,  $L_d$ ,  $C_d$  là hàm số của dòng điện hay điện áp, nó đặc trưng cho phần tử phi tuyến tại mỗi điểm trên đường đặc tính.



Hình 6.3.



Hình 6.4.

### 6.1.2. Các tính chất cơ bản của mạch phi tuyến

Do quan hệ phi tuyến giữa đáp ứng và kích thích nên mạch phi tuyến có những tính chất khác hẳn trong mạch tuyến tính.

a) Mạch phi tuyến không có tính xếp chồng nghiệm. Ví dụ một điện trở phi tuyến có đặc tính  $i = 2u^2$ . Nếu kích thích  $u$  là tổng của hai kích thích  $u_1$  và  $u_2$  nghĩa là  $u = u_1 + u_2$  và các đáp ứng riêng rẽ là  $i_1 = 2u_1^2$  và  $i_2 = 2u_2^2$  thì:

$$i = 2(u_1 + u_2)^2 = 2u_1^2 + 4u_1u_2 + 2u_2^2 \neq 2u_1^2 + 2u_2^2 \quad (6.4)$$

b) Mạch phi tuyến có tính chất tạo tần số. Nếu nguồn kích thích là hình sin thì do quan hệ phi tuyến đáp ứng của mạch sẽ không sin và có thể phân tích thành một tổng các điều hòa có tần số khác nhau.

Ví dụ. Đặc tính phi tuyến  $y = ax^2$  nếu kích thích  $x = A \sin \omega t$  thì đáp ứng

$$y = A^2 \sin^2 \omega t = \frac{A^2}{2} (1 + \cos 2\omega t).$$

Ta nhận thấy đáp ứng y chứa thành phần một chiều có trị số  $\frac{A^2}{2}$  và thành phần xoay chiều có tần số góc  $2\omega$ . Trong trường hợp tổng quát đáp ứng có thể chứa các điều hòa bậc n bằng số hạng cao nhất của hàm số phi tuyến y(x). Người ta ứng dụng tính chất trên trong kỹ thuật nhân, chia tần số ...

Do tính nhiều vẻ của các đặc tính phi tuyến nên ở mạch phi tuyến còn có nhiều hiện tượng khác không có ở mạch tuyến tính như hiện tượng ổn áp, ổn dòng, trigơ v.v. .

## § 6.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH MẠCH PHI TUYẾN

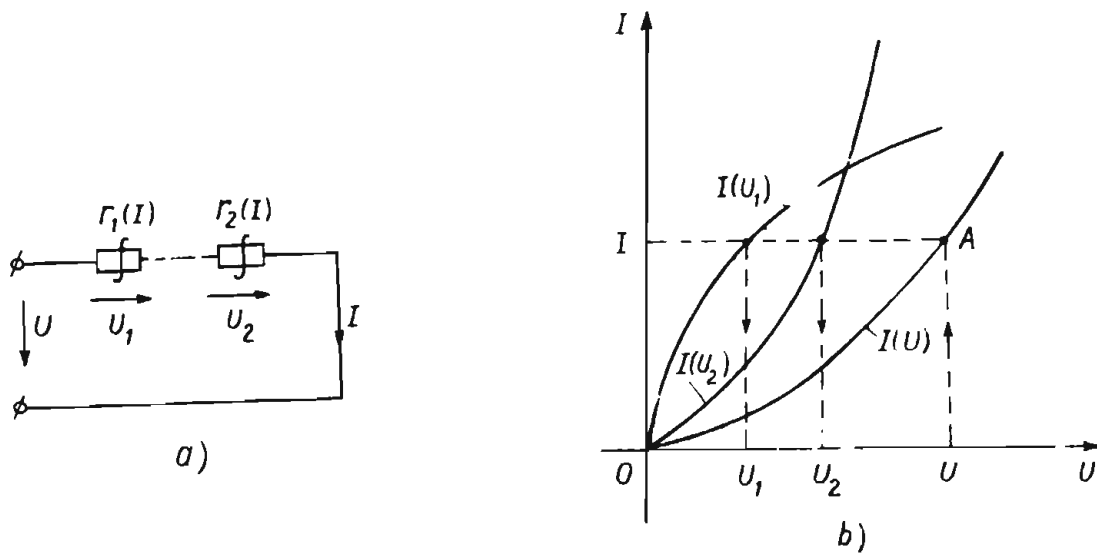
Không có một phương pháp giải tích nào để tìm nghiệm chính xác của mạch phi tuyến, do đó để phân tích mạch phi tuyến ta thường dùng các phương pháp giải gần đúng. Các phương pháp gần đúng chủ yếu là phương pháp đồ thị, phương pháp số và phương pháp biểu diễn gần đúng các đường đặc tính bằng các hàm xấp xỉ.

### 6.2.1. Phương pháp đồ thị

Nội dung của phương pháp đồ thị là từ các đường đặc tính của các phần tử vẽ đặc tính chung của mạch, sau đó xác định điểm làm việc của mạch. Ta hãy xét hai trường hợp cơ bản nối các phần tử phi tuyến.

#### a) Mạch nối tiếp

Cho mạch gồm hai phần tử phi tuyến  $r_1(I)$  và  $r_2(I)$  ghép nối tiếp (hình 6.5a) đặt vào điện áp một chiều. Hình 6.5b cho các đặc tính V-A của chúng là  $I(U_1)$  và  $I(U_2)$ .



Hình 6.5

Vì mạch gồm hai phần tử ghép nối tiếp có cùng dòng điện I chạy qua nên theo định luật Kiechốp 2 ta có :

$U = U_1 + U_2$ , đặc tính  $I(U)$  của toàn mạch vẽ bằng cách cộng hai đặc tính  $I(U_1)$  và  $I(U_2)$  theo trục hoành. Với giá trị điện áp nguồn  $U$  đã cho theo đặc tính  $I(U)$  của toàn mạch ta xác định được điểm làm việc A ứng với dòng điện  $I$  và điện áp trên từng phần tử riêng rẽ  $U_1$  và  $U_2$ .

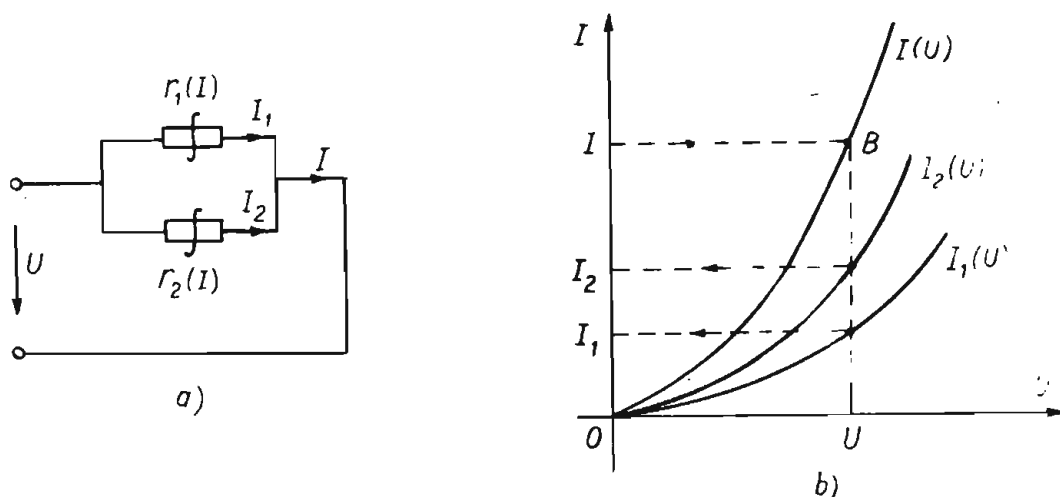
#### b) Mạch song song

Cho mạch gồm 2 phần tử phi tuyến ghép song song đóng vào nguồn một chiều  $U$  (hình 6.6a). Đặc tính V-A của các phần tử này là  $I_1(U)$  và  $I_2(U)$  cho trên hình 6.6b.

Vì điện áp  $U$  là chung cho hai phần tử và  $I = I_1 + I_2$ , đặc tính  $I(U)$  cho toàn mạch được vẽ bằng cách cộng theo trục tung đồ thị  $I_1(U)$  và  $I_2(U)$ .

Với dòng điện  $I$  đã cho theo đặc tính  $I(U)$  chúng ta xác định được điểm làm việc là B ứng với điện áp  $U$  và dòng điện qua từng phần tử phi tuyến là  $I_1$  và  $I_2$ .

Nếu mạch phức tạp gồm nhiều phần tử phi tuyến ghép nối tiếp và song song ta sẽ lần lượt nhóm các phần tử phi tuyến như đã làm ở hai mục trên.



Hình 6.6.

### 6.2.2. Phương pháp số

Trong các bài toán phức tạp chứa nhiều phần tử phi tuyến việc giải bằng đồ thị sẽ trở nên khó khăn và gặp sai số lớn. Trong các trường hợp này ta thường dùng các phương pháp số. Một trong các phương pháp số có độ hội tụ nhanh là phương pháp lặp.

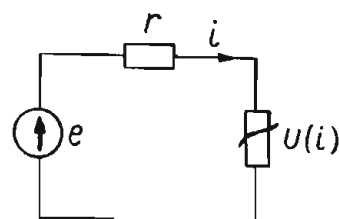
Giả thiết mạch phi tuyến hình 6.7 chứa một phần tử phi tuyến có đặc tính cho bằng hàm  $u(i)$ .

Phương trình dòng điện  $i$  được tính là :

$$i = \frac{e - u(i)}{r} \quad (6.5)$$

Để tìm dòng điện  $i$  bằng phương pháp lặp ta tùy ý chọn giá trị ban đầu của dòng điện  $i_0$ . Theo đặc tính  $u(i)$  ta xác định được dòng điện là :

$$i_1 = \frac{e - u(i_0)}{r} \quad (6.6)$$



Hình 6.7.

Dòng điện tại bước tiếp theo được tính bằng

$$i_2 = \frac{e - u(i_1)}{r} \tag{6.7}$$

Dòng điện tại bước n được tính theo dòng điện

tại bước n - 1 là : 
$$i_n = \frac{e - u(i_{n-1})}{r} \tag{6.8}$$

Quá trình tính lặp được tiếp tục cho đến khi sai lệch  $|i_n - i_{n-1}|$  nhỏ hơn giá trị cho phép. Quá trình lặp trên được minh họa trên đồ thị hình 6.8 và dễ dàng được tính trên máy tính.

Phương pháp lặp Niuton có độ hội tụ nhanh được dùng rộng rãi để tính mạch phi tuyến. Nếu hàm phi tuyến  $g(x) = 0$  đã cho thì nghiệm gần đúng của bước tính đầu tiên được tính bằng biểu thức :

$$x_1 = x_0 - \frac{g(x_0)}{g'(x_0)} \tag{6.9}$$

Quá trình lặp tiếp tục cho tới bước thứ (n + 1), nghiệm  $x_{n+1}$  được xác định bằng biểu thức

$$x_{n+1} = x_n - \frac{g(x_n)}{g'(x_n)} \tag{6.10}$$

trong đó g' là đạo hàm bậc nhất của g.

Ví dụ : Cho mạch phi tuyến hình 6.7 với giá trị  $E = 1V$ ,  $R = 10^4 \ \Omega$ , đặc tính phi tuyến cho hàm số mũ  $i = 20 \cdot 10^{-6} (e^{38,6u} - 1)$ .

Phương trình định luật Kiếchốp 2 viết cho mạch trên là :

$$Ri + u - e = 0$$

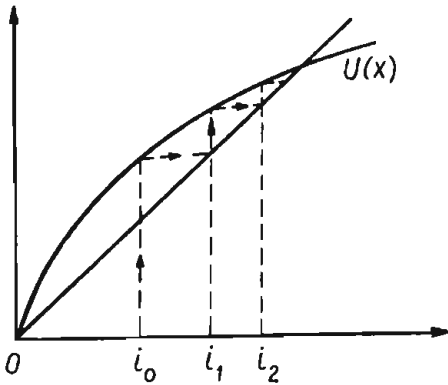
Ta có hàm 
$$g(u) = 0,2 (e^{38,6u} - 1) + u - 1 = 0$$

Đạo hàm 
$$g'(u) = 1 + 7,72 e^{38,6u}$$

Ta chọn giá trị ban đầu  $u_0 = 0,01 \ V$ . Suy ra  $i_0 = 20 \cdot 10^{-6} (e^{36,6u} - 1) = 0,942 \cdot 10^{-5} \ A$ . Quá trình lặp theo phương pháp Niuton cho trên bảng sau :

Bước lặp	Điện áp u, V	Dòng điện i, mA
1	0,01	$0,942.10^{-2}$
2	0,824	0,462
3	0,0628	0,204
4	0,0500	0,117
6	0,0457	0,097
7	0,0454	0,095

Với sai số  $\Delta i < 0,01 \ mA$  ta có nghiệm gần đúng  $i = 0,095 \ mA$ .



Hình 6.8.

### 6.2.3. Biểu diễn gần đúng các đặc tính phi tuyến bằng các hàm giải tích

Để nghiên cứu các mạch phi tuyến bằng phương pháp giải tích ta thường làm xấp xỉ các đặc tính phi tuyến bằng các hàm giải tích rồi thế chúng vào các phương trình mạch, sau đó chọn các biện pháp giải và khảo sát phù hợp nhất.

Một đường đặc tính có thể biểu diễn xấp xỉ bằng các hàm giải tích khác nhau. Ví dụ một đặc tính phi tuyến đối xứng qua gốc có thể được biểu diễn bằng đa thức và hàm số lẻ sau :

$$y = ax + bx^3$$

$$y = kx^n \text{ (n lẻ)}$$

$$y = asbxbx \text{ v.v...}$$

Các hệ số  $a$ ,  $b$ ,  $k$ ,  $n$  được xác định sao cho hàm cần tìm đi qua một số điểm  $(x, y)$  trên đường đặc tính xét.

### CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 6

1. Các thông số của phần tử phi tuyến. Cách xác định các thông số
2. Các tính chất cơ bản của mạch phi tuyến
3. Cách giải mạch phi tuyến bằng phương pháp đồ thị
4. Nội dung của phương pháp lập tìm nghiệm của phương trình phi tuyến

### BÀI TẬP CHƯƠNG 6

#### Bài số 6.1.

Đặc tính vôn-ampe của varistor trong khoảng  $0 \leq u \leq 40 \text{ V}$  cho theo bảng

U (V)	0	10	20	30	40
I (mA)	0	0,5	1,5	4,0	9,0

Làm gần đúng đặc tính này bằng đa thức.

*Bài giải*

Ta chọn đa thức bậc hai  $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ . Vì cần xác định 3 hệ số  $a_0$ ,  $a_1$  và  $a_2$  ta chọn 3 nút

$$x_0 = 0, y_0 = 0 ; x_1 = 20, y_1 = 1,5 ; x_2 = 40, y_2 = 9,0$$

vì  $x_0 = 0, y_0 = 0$  suy ra  $a_0 = 0$ . Ta được hệ 2 phương trình

$$20a_1 + 400a_2 = 1,5$$

$$40a_1 + 1600a_2 = 9,0$$

Giải hệ phương trình suy ra  $a_1 = -\frac{3}{40}$ ,  $a_2 = \frac{3}{400}$

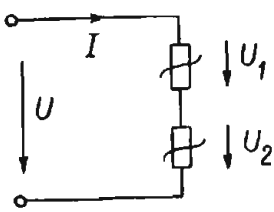
Vậy đa thức làm gần đúng cho varistor có dạng :

$$y = -\frac{3x}{40} + \frac{3x^2}{400}$$



**Bài số 6.2.**

Cho mạch gồm hai điện trở phi tuyến mắc nối tiếp đặt vào điện áp 1 V (hình 6.9).  
Đặc tính vôn-ampe có dạng  $u_1 = i^{1/3}$ ,  $u_2 = \text{shi}_2$ . Tìm  
dòng điện và điện áp trên từng phần tử.



Hình 6.9.

*Bài giải*

Ta giải bằng phương pháp lập Niuton. Phương trình  
định luật Kiếchốp 2 cho mạch

$$u_1 + u_2 = i^{1/3} + \text{shi} = U = 1$$

$$f(i) = i^{1/3} + \text{shi} - 1 = 0$$

đạo hàm  $f'(i) = \frac{1}{3} i^{-2/3} + \text{chi}$

Chọn giá trị ban đầu  $i_0 = 0,3$  suy ra

$$f(i_0) = 0,3^{1/3} + \text{sh}0,3 - 1 = -0,0262$$

$$f'(i_0) = \frac{1}{3} \frac{1}{\sqrt[3]{0,3^2}} + \text{ch}0,3 = 1,789$$

$$i_1 = i_0 - \frac{f(i_0)}{f'(i_0)} = 0,3 + \frac{0,0262}{1,789} = 0,315$$

$$f(i_1) = 0,315^{1/3} + \text{sh}0,315 - 1 \approx 0$$

Vậy có  $i = 0,315$ . Theo đặc tính phi tuyến tìm được

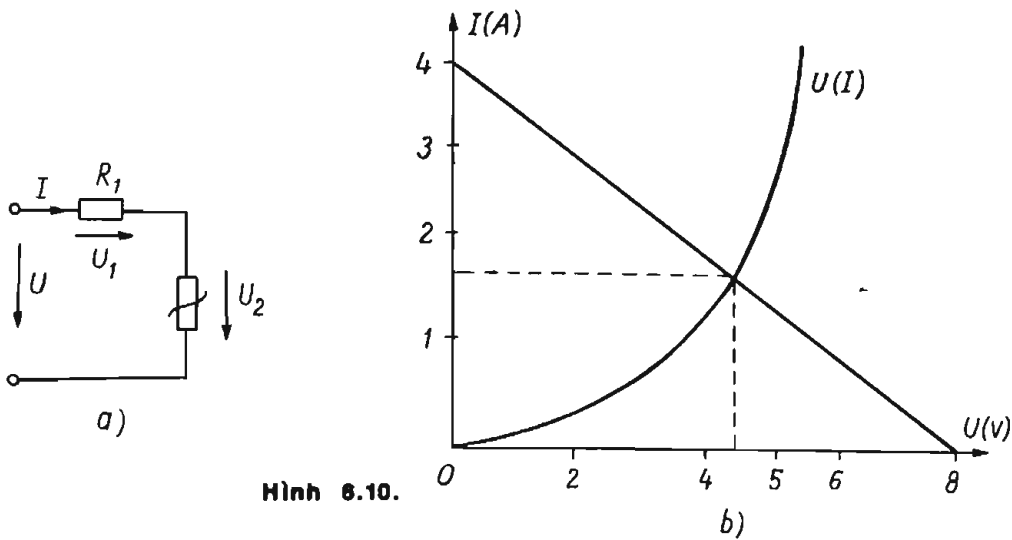
$$U_1 = \sqrt[3]{0,315} = 0,680 \text{ V}$$

$$U_2 = \text{sh}0,315 = 0,320 \text{ V.}$$

**Bài số 6.3.**

Cho mạch hình 6.10a gồm một điện trở  $R = 2 \Omega$  nối tiếp với điện trở phi  
tuyến có đặc tính  $U_2(I)$  cho trên hình 6.10b.

Tìm dòng điện và điện áp trên các phần tử.



Hình 6.10.

*Bài giải*

Ta giải bằng phương pháp đồ thị. Viết phương trình Kiếchốp 2 cho mạch.

$$U = U_1 + U_2(I) = R_1 I + U_2(I) \text{ hay } U_2(I) = U - R_1 I = 8 - 2I$$

Đây là phương trình đường thẳng qua 2 điểm có tọa độ :

$$I = 0, U_2 = 8 \text{ V và } I = 4 \text{ A, } U_2 = 0.$$

Giao điểm đường thẳng này với đặc tính  $U_2(I)$  cho kết quả

$$I = 1,75 \text{ A, } U_2 = 4,5 \text{ V}$$

$$U_1 = RI = 2 \times 1,75 = 3,5 \text{ V}$$

$$U_2 = U - U_1 = 8 - 3,5 = 4,5 \text{ V.}$$

#### Bài số 6.4.

Đặc tuyến vôn-ampe của 1 diốt được làm gần đúng bằng hàm mũ

$$i_d = \begin{cases} 2u_d^2 \text{ mA, } U_d \geq 0 \\ 0, U_d < 0 \end{cases}$$

Diốt được nối với nguồn 1 chiều  $U_0 = 10 \text{ V}$  và nối tiếp với nguồn xoay chiều  $u = 0,1 \cos \omega t \text{ V}$  (hình 6.11a)

1) Xác định điểm làm việc của diốt

2) Tính điện trở động của diốt

*Bài giải*

Phương trình định luật Kiếchốp 2 cho mạch điện hình 6.11a là :

$$U_0 + u = u_d + (R + R_t) i_d.$$

Điểm làm việc tĩnh được xác định khi chỉ có nguồn một chiều tác động, ta suy ra đường đặc tính tải tĩnh

$$u_d = U_0 - (R + R_t) i_d$$

Đây là phương trình đường thẳng cắt trục hoành tại  $u_d = U_0 = 10 \text{ V}$  và trục tung tại

$$i_d = \frac{U_0}{R + R_t} = \frac{10}{0,4} = 25 \text{ mA}$$

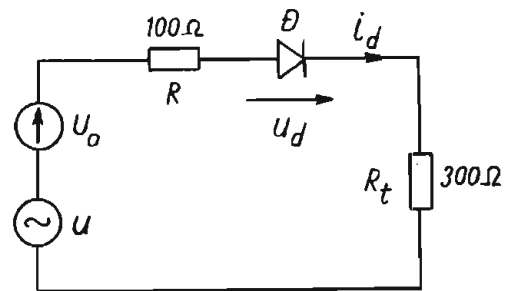
Giao điểm của đặc tính tải tĩnh và đặc tính vôn-ampe cho ta tọa độ của điểm làm việc là 18 mA, 3 V (điểm A) (hình 6.11b)

Đặc tuyến vôn-ampe của diốt có

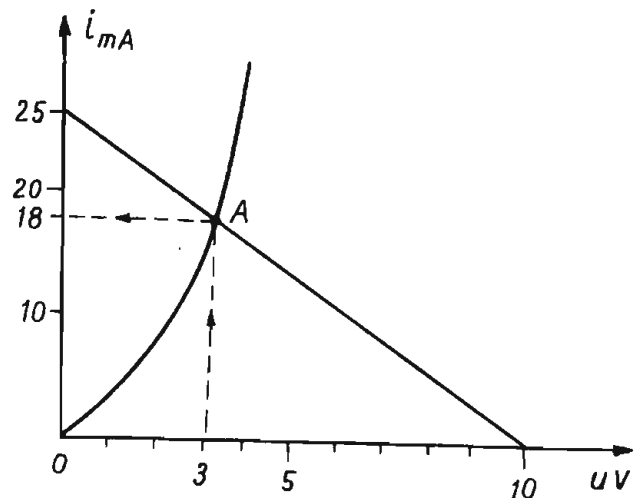
dạng  $i_d = 2u_d^2$ , ta tính điện dẫn động

$$g_d = \frac{di_d}{du_d} = 4u_d \Big|_{u_d=3 \text{ V}} = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ S.}$$

suy ra điện trở động  $R_d = \frac{1}{g_d} = \frac{1}{4,3 \cdot 10^{-3}} = 83,33 \Omega.$



Hình 6.11a.



Hình 6.11b.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 6

### Bài số 6.5

Một biến trở nhiệt có thể được biểu diễn bằng hàm số mũ:  $R = Ae^{-B/T}$ , trong đó A, B là các hằng số được xác định như sau:

Ở nhiệt độ  $T = 300K$  có  $R_{300} = 5000\Omega$

$T = 400K$  có  $R_{400} = 410\Omega$

Tìm A và B. Đường biểu diễn  $\ln R$  theo  $1/T$  có dạng như thế nào?

**Đáp số:**  $A = 0,23\Omega$  và  $B = 3000K$ ; đường thẳng.

### Bài số 6.6

Một điện trở phi tuyến có đặc tính vôn-ampe được làm gần đúng bằng hàm mũ:

$I = kU^n$  với k, n là các hằng số

Người ta thực hiện hai thí nghiệm sau:

$$U_1 = 40V \quad I_1 = 0,25mA$$

$$U_2 = 100V \quad I_2 = 10mA$$

Tìm k, n

**Đáp số:**  $n = 4$ ,  $k = 10^{-7}$

### Bài số 6.7

Tìm điện dẫn  $g_o = I_o/U_o$  tại một điểm làm việc  $M_o(U_o, I_o)$  của điện trở phi tuyến trong bài 6.6. Tính điện dẫn động.

**Đáp số:**  $g_o = kU_o^{n-1}$

$$g_d = n.k.U_o^{n-1} \text{ suy ra } g_d = n.g_o$$

### Bài số 6.8

Sơ đồ diốt Zener cho trên hình 6.12, trong đó giới hạn làm việc của diốt  $5mA \leq i \leq 50mA$ .

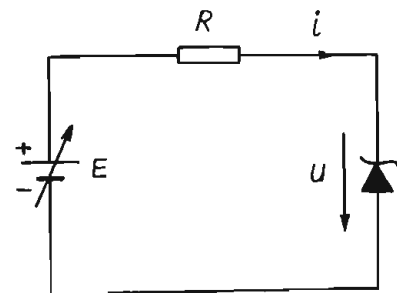
Giả thiết đặc tính vôn-ampe là tuyến tính và đi qua các điểm  $M_1$  ( $i = 200mA$ ,  $u = 10V$ ) và  $M_2$  ( $i = 50mA$ ,  $u = 10,3V$ ). Chọn  $R = 0,5k\Omega$ . Sức điện động E điều chỉnh được ban đầu lấy bằng 20V.

a) Xác định điện làm việc  $M_o$  của sơ đồ.

b) Nếu sđđ biến thiên  $\pm 5V$  giữa 15 và 25V, hãy xác định hệ số ổn áp  $S = (\Delta E/E)/(\Delta U/U)$ .

**Đáp số**  $M_o$  ( $U_o = 10V$ ,  $I_o = 20mA$ )

$$\Delta i = \pm 10mA, \Delta u = \pm 0,1V \text{ suy ra } S = 25.$$



**Hình 6.12**

## **Phần II. MÁY ĐIỆN**

---

### **Chương 7**

## **KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY ĐIỆN**

### **§ 7.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI**

#### **7.1.1. Định nghĩa**

Máy điện là thiết bị điện từ, nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ. Về cấu tạo máy điện gồm mạch từ (lõi thép) và mạch điện (các dây quấn), dùng để biến đổi dạng năng lượng như cơ năng thành điện năng (máy phát điện) hoặc ngược lại biến đổi điện năng thành cơ năng (động cơ điện), hoặc dùng để biến đổi thông số điện như biến đổi điện áp, dòng điện, tần số, số pha v.v...

Máy điện là máy thường gặp nhiều trong các ngành kinh tế như công nghiệp, giao thông vận tải ... và trong các dụng cụ sinh hoạt trong gia đình.

#### **7.1.2. Phân loại**

Máy điện có nhiều loại được phân loại theo nhiều cách khác nhau, ví dụ phân loại theo công suất, theo cấu tạo, theo chức năng, theo loại dòng điện (xoay chiều, một chiều), theo nguyên lý làm việc v.v... Trong giáo trình này ta phân loại dựa vào nguyên lý biến đổi năng lượng như sau :

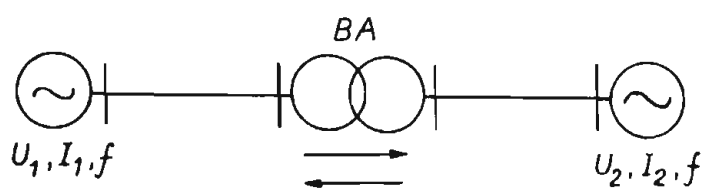
##### *a) Máy điện tĩnh*

Máy điện tĩnh thường gặp là máy biến áp. Máy điện tĩnh làm việc dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ do sự biến thiên từ thông giữa các cuộn dây không có chuyển động tương đối với nhau.

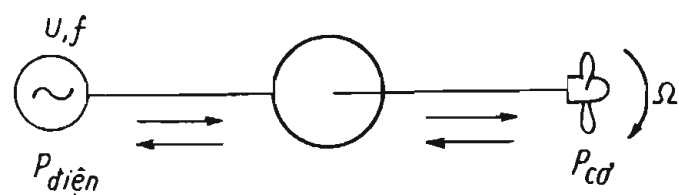
Máy điện tĩnh thường dùng để biến đổi thông số điện năng. Do tính chất thuận nghịch của các quy luật cảm ứng điện từ, quá trình biến đổi có tính thuận nghịch, ví dụ máy biến áp biến đổi điện năng có thông số  $U_1, I_1, f$ , thành điện năng có thông số  $U_2, I_2, f$ , hoặc ngược lại biến đổi hệ thống điện  $U_2, I_2, f$ , thành hệ thống điện  $U_1, I_1, f$ , (hình 7.1).

b) *Máy điện có phần động* (quay hoặc chuyển động thẳng)

Nguyên lý làm việc dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ, lực điện từ, do từ trường và dòng điện của các cuộn dây có chuyển động tương đối với nhau gây ra.



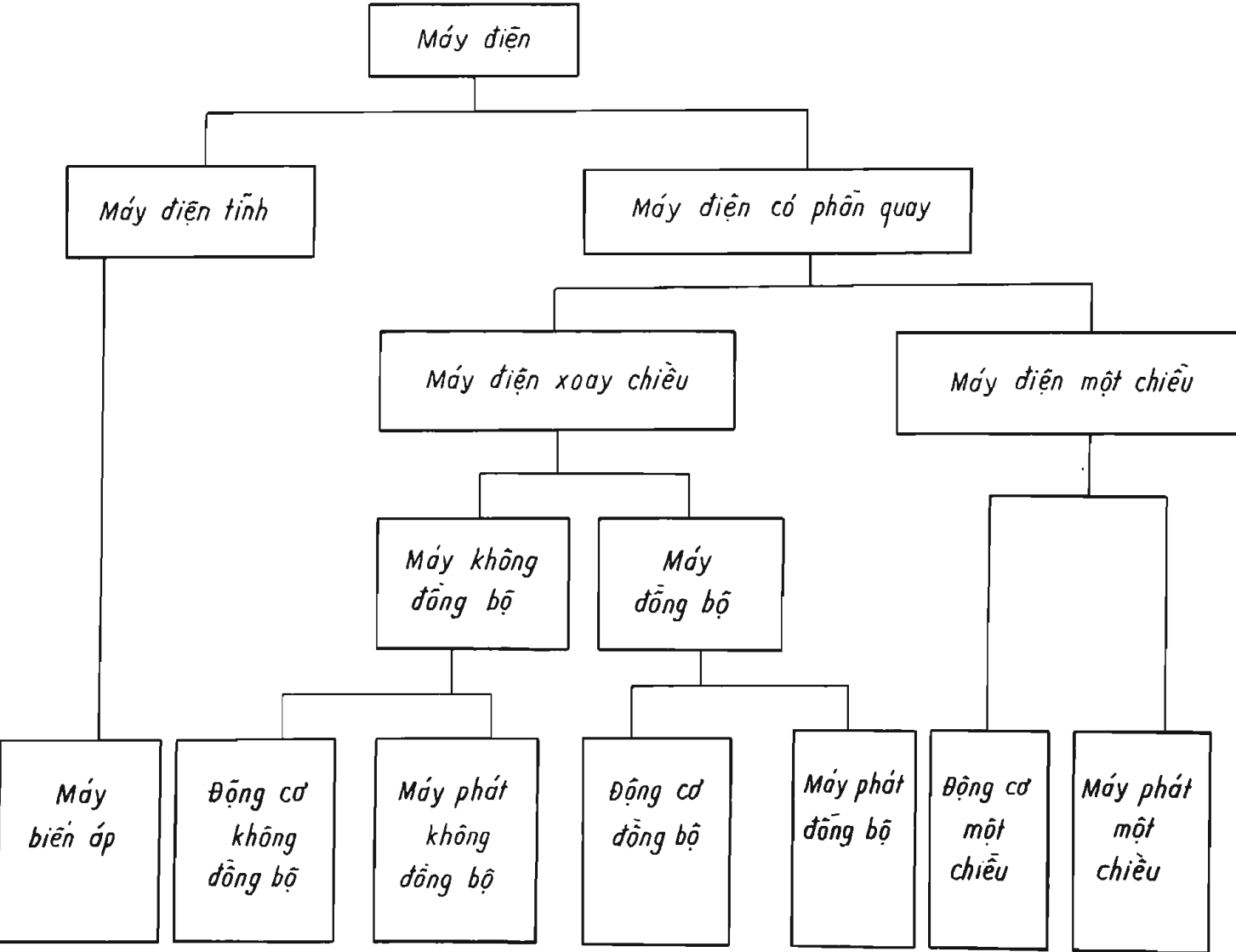
Hình 7.1.



Hình 7.2.

Loại máy điện này thường dùng để biến đổi dạng năng lượng, ví dụ biến đổi điện năng thành cơ năng (động cơ điện) hoặc biến đổi cơ năng thành điện năng (máy phát điện). Quá trình biến đổi có tính thuận nghịch (hình 7.2) nghĩa là máy điện có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc động cơ điện.

Trên hình 7.3 vẽ sơ đồ phân loại máy điện thông dụng thường gặp.



Hình 7.3.

## § 7.2. CÁC ĐỊNH LUẬT ĐIỆN TỪ CƠ BẢN DÙNG TRONG MÁY ĐIỆN

Nguyên lý làm việc của tất cả các máy điện đều dựa trên cơ sở hai định luật cảm ứng điện từ và lực điện từ. Khi tính toán mạch từ người ta sử dụng định luật dòng điện toàn phần. Các định luật này đã được trình bày trong giáo trình vật lý, ở đây chỉ nêu lại những điểm cần thiết, áp dụng cho nghiên cứu máy điện.

### 7.2.1. Định luật cảm ứng điện từ

a) Trường hợp từ thông  $\Phi$  biến thiên xuyên qua vòng dây

Khi từ thông  $\Phi$  biến thiên xuyên qua vòng dây dẫn, trong vòng dây sẽ cảm ứng sức điện động. Nếu chọn chiều sức điện động cảm ứng phù hợp với chiều của từ thông theo quy tắc vặn nút chai (hình 7.4), sức điện động cảm ứng trong một vòng dây, được viết theo công thức Mácxoen như sau :

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (7.1)$$

Dấu  $\otimes$  trên hình 7.4 chỉ chiều đi từ độc giả vào trong giấy.

Nếu cuộn dây có  $w$  vòng, sức điện động cảm ứng của cuộn dây sẽ là :

$$e = - \frac{wd\Phi}{dt} = - \frac{d\psi}{dt} \quad (7.2)$$

trong đó :  $\psi = w\Phi$  gọi là từ thông móc vòng của cuộn dây.

Trong các công thức (7.1), (7.2) từ thông đo bằng  $Wb$  (Webe), sức điện động đo bằng V.

b) Trường hợp thanh dẫn chuyển động trong từ trường

Khi thanh dẫn chuyển động thẳng góc với đường sức từ trường (đó là trường hợp thường gặp trong máy phát điện), trong thanh dẫn sẽ cảm ứng sức điện động  $e$ , có trị số là :

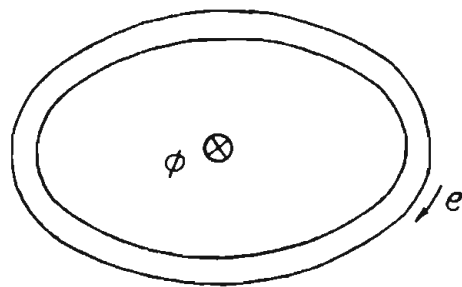
$$e = Blv \quad (7.3)$$

trong đó :  $B$  - từ cảm đo bằng T (Tesla);

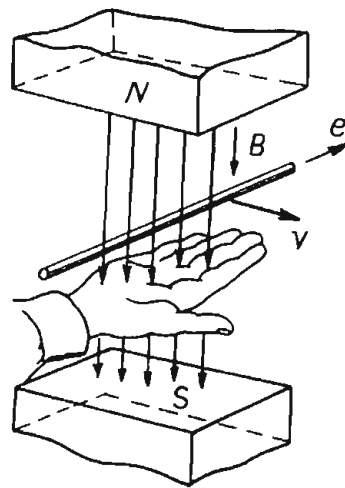
$l$  - chiều dài hiệu dụng của thanh dẫn (phần thanh dẫn nằm trong từ trường) đo bằng m;

$v$  - tốc độ thanh dẫn đo bằng m/s.

Chiều của sức điện động cảm ứng được xác định theo qui tắc bàn tay phải (hình 7.5).



Hình 7.4.



Hình 7.5.

### 7.2.2. Định luật lực điện từ

Khi thanh dẫn mang dòng điện đặt thẳng góc với đường sức từ trường (đó là trường hợp thường gặp trong động cơ điện), thanh dẫn sẽ chịu một lực điện từ tác dụng, có trị số là :

$$F_{dt} = Bil \quad (7.4)$$

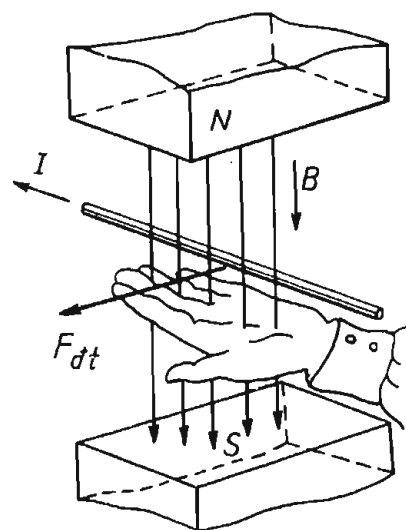
trong đó :  $B$  - từ cảm đo bằng T;

$i$  - dòng điện đo bằng A ;

$l$  - chiều dài hiệu dụng thanh dẫn đo bằng m;

$F_{dt}$  - lực điện từ đo bằng N (Niuton).

Chiều lực điện từ xác định theo qui tắc bàn tay trái (hình 7.6).



Hình 7.6.

## § 7.3. NGUYÊN LÝ MÁY PHÁT ĐIỆN VÀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN. TÍNH THUẬN NGHỊCH CỦA MÁY ĐIỆN

Máy điện có tính thuận nghịch, nghĩa là có thể làm việc ở chế độ máy phát điện hoặc động cơ điện.

### 7.3.1. Chế độ máy phát điện

Cho cơ năng của động cơ sơ cấp tác dụng vào thanh dẫn một lực cơ học  $F_{cơ}$ , thanh dẫn sẽ chuyển động với tốc độ  $v$  trong từ trường của nam châm N - S (hình 7.7) trong thanh dẫn sẽ cảm ứng sức điện động  $e$ . Nếu nối vào 2 cực của thanh dẫn điện trở  $R$  của tải. Dòng điện  $i$  chạy trong thanh dẫn cung cấp điện cho tải. Nếu bỏ qua điện trở của thanh dẫn, điện áp đặt vào tải  $u = e$ . Công suất điện máy phát cung cấp cho tải là  $p_a = ui = ei$ .

Dòng điện  $i$  nằm trong từ trường sẽ chịu tác dụng của lực điện từ  $F_{dt} = Bil$  có chiều như hình vẽ.

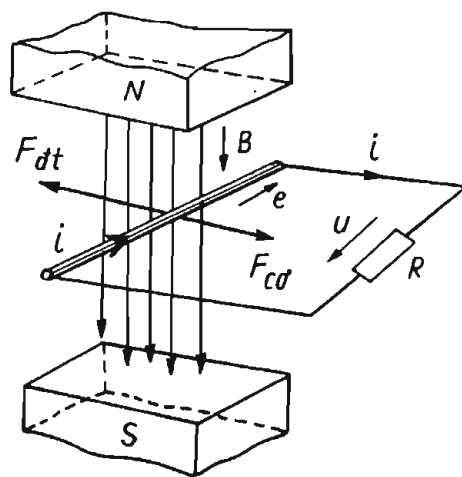
Khi máy quay với tốc độ không đổi lực điện từ sẽ cân bằng với lực cơ của động cơ sơ cấp :

$$F_{cơ} = F_{dt}$$

Nhân 2 vế với  $v$  ta có

$$F_{cơ}v = F_{dt}v = Bilv = ei$$

Như vậy công suất cơ của động cơ sơ cấp  $p_{cơ} = F_{cơ}v$  đã được biến đổi thành công suất điện  $p_d = ei$  nghĩa là cơ năng đã được biến thành điện năng.



Hình 7.7.

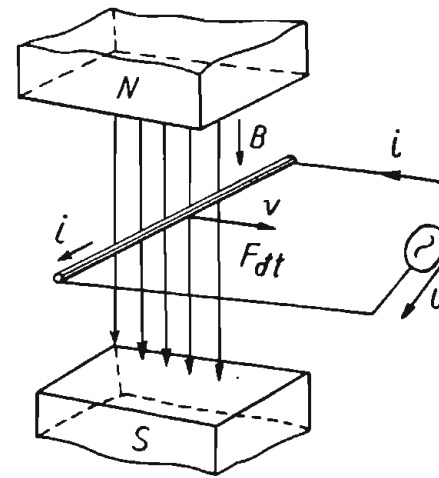
### 7.3.2. Chế độ động cơ điện

Cung cấp điện cho máy điện, điện áp  $U$  của nguồn điện sẽ gây ra dòng điện  $i$  trong thanh dẫn. Dưới tác dụng của từ trường sẽ có lực điện từ  $F_{dt} = B i l$  tác dụng lên thanh dẫn làm thanh dẫn chuyển động với tốc độ  $v$  có chiều như hình 7.8.

Công suất điện đưa vào động cơ

$$p_d = ui = ei = B l v i = B i l v = F_{dt} v.$$

Như vậy công suất điện  $p_d = ui$  đưa vào động cơ đã được biến thành công suất cơ  $p_{co} = F_{dt} v$  trên trục động cơ. Điện năng đã được biến đổi thành cơ năng. Ta nhận thấy cùng một thiết bị điện từ tùy theo năng lượng đưa vào mà máy điện có thể làm việc ở chế độ động cơ hoặc máy phát điện. Mọi loại máy điện đều có tính chất thuận nghịch.



Hình 7.8.

## § 7.4. ĐỊNH LUẬT MẠCH TỪ. TÍNH TOÁN MẠCH TỪ

### 7.4.1. Định luật mạch từ

Lõi thép của máy điện là mạch từ. Mạch từ là mạch khép kín dùng để dẫn từ thông. Hình 7.9 là mạch từ đơn giản : mạch từ đồng nhất bằng thép kỹ thuật điện, và có một dây quấn. Định luật dòng điện toàn phần  $\oint_l H dl = \sum i$ , áp dụng vào mạch từ hình 7.9 được viết như sau :

$$Hl = wi$$

trong đó :  $H$  - cường độ từ trường trong mạch từ đo bằng A/m ;

$l$  - chiều dài trung bình của mạch từ đo bằng m;

$w$  - số vòng dây của cuộn dây;

Dòng điện  $i$  tạo ra từ thông cho mạch từ, gọi là dòng điện từ hoá.

Tích số  $w i$  được gọi là sức từ động.

$Hl$  được gọi là từ áp rơi trong mạch từ.

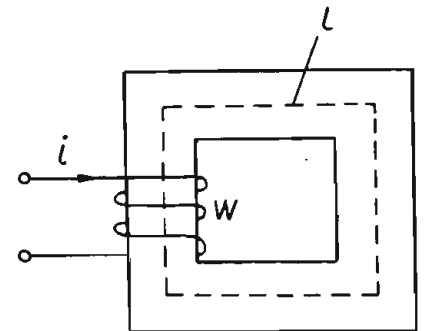
Đối với mạch từ gồm nhiều cuộn dây và nhiều đoạn khác nhau (các đoạn làm bằng vật liệu khác nhau, hoặc tiết diện khác nhau), ví dụ hình 7.10 thì định luật mạch từ viết là :

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 = w_1 i_1 - w_2 i_2.$$

trong đó :  $H_1, H_2$  - tương ứng là cường độ từ trường trong đoạn 1, 2;

$l_1, l_2$  - chiều dài trung bình đoạn 1, 2 ;

$H_1 l_1, H_2 l_2$  gọi là từ áp đoạn 1, 2 ;



Hình 7.9.



$i_1 w_1, i_2 w_2$  - sức từ động dây quấn 1, 2;

$S_1, S_2$  - tiết diện đoạn 1, 2.

có dấu - trước  $w_2 i_2$  vì chiều dòng điện  $i_2$  không phù hợp với chiều từ thông  $\Phi$  đã chọn theo qui tắc vụn nút chai.

Một cách tổng quát đối với mạch từ có  $n$  đoạn và  $m$  cuộn dây định luật mạch từ được viết :

$$\sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum_{j=1}^m w_j i_j ,$$

trong đó : dòng điện  $i_j$  nào có chiều phù hợp với chiều  $\Phi$  đã chọn theo qui tắc vụn nút chai sẽ mang dấu dương, không phù hợp sẽ mang dấu âm.

$k$  - chỉ số tên đoạn mạch từ ;

$j$  - chỉ số tên cuộn dây dòng điện.

### 7.4.2. Tính toán mạch từ

Việc tính toán mạch từ thường thể hiện trong hai loại bài toán :

- *Bài toán thuận* : Cho biết từ thông, tính dòng điện từ hoá (hoặc số vòng dây) để sinh ra từ thông ấy.

Việc giải bài toán này thường tiến hành như sau.

Ví dụ : Cho mạch từ không phân nhánh như hình 7.10, từ thông ở các đoạn đều giống nhau, do đó từ cảm của mỗi đoạn mạch ấy là :

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} , \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2} .$$

$S_1, S_2$  - tiết diện đoạn mạch từ 1, 2.

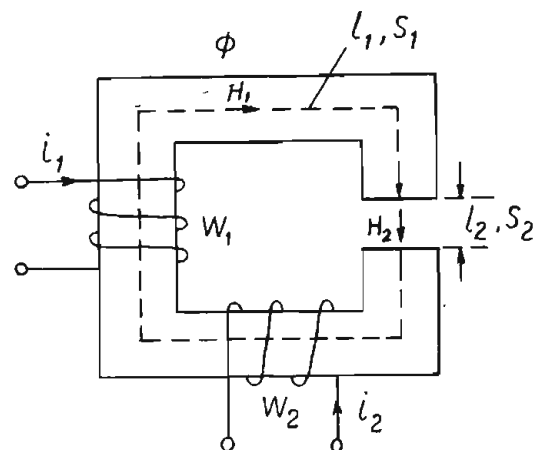
Từ trị số từ cảm  $B$  ở từng đoạn mạch, ta tính cường độ từ trường  $H$  tương ứng với mỗi đoạn mạch ấy như sau :

Đối với đoạn mạch 2 là khe hở không khí, từ trị số từ cảm  $B_2$ , ta tính cường độ từ trường  $H_2$  như sau :

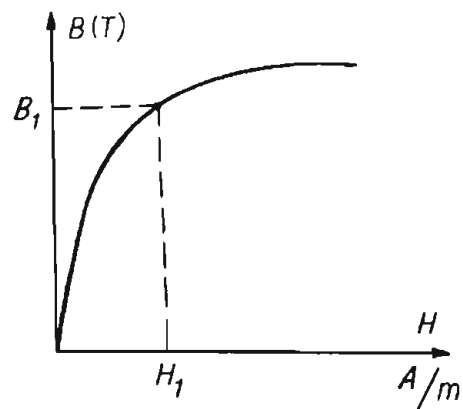
$$H_2 = \frac{B_2}{\mu_0}$$

trong đó  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ .

Đối với đoạn mạch từ là vật liệu sắt từ (đoạn 1), ta phải tra đường cong từ hoá  $B = f(H)$  trên hình 7.11 (hoặc bảng) đối với các loại thép. Từ trị số  $B$ , ta tra ra trị số  $H_1$  tương ứng. Sau đó ta tìm tổng  $\sum H_k l_k = H_1 l_1 + H_2 l_2$ .



Hình 7.10.



Hình 7.11.

Từ đó ta tính ra được dòng điện từ hoá (hoặc số vòng dây).

- *Bài toán ngược* : Cho biết dòng điện, cần tính từ thông. Loại bài toán này phức tạp hơn, thường dùng phương pháp dò hoặc các phương pháp nói trong chương 6 mạch phi tuyến.

## § 7.5. CÁC VẬT LIỆU CHẾ TẠO MÁY ĐIỆN

Vật liệu chế tạo máy điện gồm : vật liệu dẫn điện, vật liệu dẫn từ, vật liệu cách điện và vật liệu kết cấu.

### 7.5.1. Vật liệu dẫn điện

Vật liệu dẫn điện dùng để chế tạo các bộ phận dẫn điện. Vật liệu dẫn điện dùng trong máy điện tốt nhất là đồng vì chúng không dắt lắm và có điện trở suất nhỏ. Ngoài ra còn dùng nhôm và các hợp kim khác như đồng thau, đồng phốt pho. Để chế tạo dây quấn ta thường dùng đồng, đôi khi nhôm. Dây đồng và dây nhôm được chế tạo theo tiết diện tròn hoặc chữ nhật, có bọc các loại cách điện khác nhau như sợi vải, sợi thủy tinh, giấy, nhựa hoá học, sơn êmai. Với các máy điện công suất nhỏ và trung bình, điện áp dưới 700 V thường dùng dây êmai vì lớp cách điện của dây mỏng, đạt độ bền yêu cầu. Đối với các bộ phận khác như vành đổi chiều, lồng sóc hoặc vành trượt, ngoài đồng, nhôm, người ta còn dùng cả các hợp kim của đồng hoặc nhôm, hoặc có chỗ còn dùng cả thép để tăng độ bền cơ học và giảm kim loại màu.

### 7.5.2. Vật liệu dẫn từ

Vật liệu dẫn từ dùng để chế tạo các bộ phận của mạch từ, người ta dùng các vật liệu sắt từ để làm mạch từ : thép lá kỹ thuật điện, thép lá thường, thép đúc, thép rèn. Gang ít khi được dùng, vì dẫn từ không tốt lắm.

Ở đoạn mạch từ có từ thông biến đổi với tần số 50 Hz thường dùng thép lá kỹ thuật điện dày 0,35 - 0,5 mm, trong thành phần thép có từ 2 - 5% Si (để tăng điện trở của thép, giảm dòng điện xoáy). Ở tần số cao hơn, dùng thép lá kỹ thuật điện dày 0,1 - 0,2 mm. Tổn hao công suất trong thép lá do hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy được đặc trưng bằng suất tổn hao. Thép lá kỹ thuật điện được chế tạo bằng phương pháp cán nóng và cán nguội. Hiện nay với máy biến áp và máy điện công suất lớn thường dùng thép cán nguội vì có độ từ thẩm cao hơn và công suất tổn hao nhỏ hơn loại cán nóng.

Ở đoạn mạch từ có từ trường không đổi, thường dùng thép đúc, thép rèn hoặc thép lá.

### 7.5.3. Vật liệu cách điện

Vật liệu cách điện dùng để cách ly các bộ phận dẫn điện và không dẫn điện, hoặc cách ly các bộ phận dẫn điện với nhau. Trong máy điện, vật liệu cách điện

phải có cường độ cách điện cao, chịu nhiệt tốt, tản nhiệt tốt, chống ẩm và bền về cơ học. Độ bền vững về nhiệt của chất cách điện bọc dây dẫn, quyết định nhiệt độ cho phép của dây và do đó quyết định tải của nó.

Nếu tính năng chất cách điện cao thì lớp cách điện có thể mỏng và kích thước của máy giảm.

Chất cách điện của máy điện chủ yếu ở thể rắn, gồm 4 nhóm :

- a) Chất hữu cơ thiên nhiên như giấy, vải lụa.
- b) Chất vô cơ như amiăng, mica, sợi thủy tinh.
- c) Các chất tổng hợp
- d) Các loại men, sơn cách điện.

Chất cách điện tốt nhất là mica, song tương đối đắt nên chỉ dùng trong các máy điện có điện áp cao.

Thông thường dùng các vật liệu có sợi như giấy, vải, sợi v.v. Chúng có độ bền cơ tốt, mềm, rẻ tiền nhưng dẫn nhiệt xấu, hút ẩm, cách điện kém. Do đó dây dẫn cách điện sợi phải được sấy tẩm để cải thiện tính năng của vật liệu cách điện.

Căn cứ vào độ bền nhiệt, vật liệu cách điện được chia ra nhiều loại cấp cách điện sau :

Cấp cách điện	Vật liệu	Nhiệt độ giới hạn cho phép vật liệu, (°C)	Nhiệt độ trung bình cho phép dây quấn, (°C)
A	Sợi xenlulô, bông hoặc tơ tằm trong vật liệu hữu cơ lỏng	105	100
E	Vải loại màng tổng hợp	120	115
B	Amiăng, sợi thủy tinh có chất kết dính vật liệu gốc mica	130	120
F	Amiăng, vật liệu gốc mica, sợi thủy tinh có chất kết dính và tẩm tổng hợp	155	140
H	Vật liệu gốc mica, amiăng sợi thủy tinh phối hợp chất kết dính	180	165

Ngoài ra còn có chất cách điện ở thể khí (không khí, hydro) hoặc thể lỏng (dầu máy biến áp).

#### **7.5.4. Vật liệu kết cấu**

Vật liệu kết cấu là vật liệu để chế tạo các chi tiết chịu các tác động cơ học như trục, ổ trục, vỏ máy, nắp máy. Trong máy điện, các vật liệu kết cấu thường là gang, thép lá, thép rèn, kim loại màu và hợp kim của chúng, các chất dẻo.

### **§ 7.6. PHÁT NÓNG VÀ LÀM MÁT MÁY ĐIỆN**

Trong quá trình làm việc có tổn hao công suất. Tổn hao trong máy điện gồm tổn hao sắt từ (do hiện tượng từ trễ và dòng xoáy) trong thép, tổn hao đồng trong điện trở dây quấn và tổn hao do ma sát (ở máy điện quay). Tất cả tổn hao năng lượng đều biến thành nhiệt năng làm nóng máy điện.

Để làm mát máy điện, phải có biện pháp tản nhiệt ra môi trường xung quanh. Sự tản nhiệt không những phụ thuộc vào bề mặt làm mát của máy mà còn phụ thuộc vào sự đối lưu của không khí xung quanh hoặc của môi trường làm mát khác như dầu máy biến áp v.v... Thường vỏ máy điện được chế tạo có các cánh tản nhiệt và máy điện có hệ thống quạt gió để làm mát.

Kích thước của máy, phương pháp làm mát, phải được tính toán và lựa chọn, để cho độ tăng nhiệt của vật liệu cách điện trong máy không vượt quá độ tăng nhiệt cho phép, đảm bảo cho vật liệu cách điện làm việc lâu dài, khoảng 20 năm.

Khi máy điện làm việc ở chế độ định mức, độ tăng nhiệt của các phần tử không vượt quá độ tăng nhiệt cho phép. Khi máy quá tải, độ tăng nhiệt sẽ vượt quá nhiệt độ cho phép, vì thế không cho phép quá tải lâu dài.

### **§ 7.7. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÁY ĐIỆN**

Việc nghiên cứu máy điện gồm các công việc sau :

1. Nghiên cứu các hiện tượng vật lý xảy ra trong máy điện
2. Dựa vào các định luật vật lý, viết hệ phương trình toán diễn tả sự làm việc của máy điện. Đó là mô hình toán của máy điện.
3. Từ mô hình toán, thiết lập mô hình mạch, đó là mạch điện (sơ đồ) thay thế của máy điện.
4. Từ mô hình toán và mô hình mạch, tính toán các đặc tính và nghiên cứu máy điện, khai thác, sử dụng theo các yêu cầu cụ thể.

Bảng tóm tắt chương 7

Dại lượng	Biểu thức
Sức điện động cuộn dây e	$e = - \frac{wd\Phi}{dt} = - \frac{d\psi}{dt}$
Từ thông móc vòng	$\psi = w\Phi$
Sức điện động thanh dẫn e	$e = Blv$
Lực điện từ F <sub>dt</sub>	$F_{dt} = Bil$
Từ áp	$Hl$
Sức từ động	$wi$
Định luật mạch từ	$\sum_{k=1}^n H_k l_k = \sum_{j=1}^m w_j i_j$

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 7

- 1. Các bộ phận cơ bản của máy điện là gì ? Chức năng của các bộ phận ấy.
- 2. Giải thích ứng dụng của định luật cảm ứng điện từ và lực điện từ trong máy điện.
- 3. Giải thích nguyên lý thuận nghịch của máy điện.
- 4. Định luật mạch từ và phương pháp tính mạch từ.
- 5. Các vật liệu chính chế tạo máy điện là gì.

BÀI TẬP CHƯƠNG 7

Bài số 7.1.

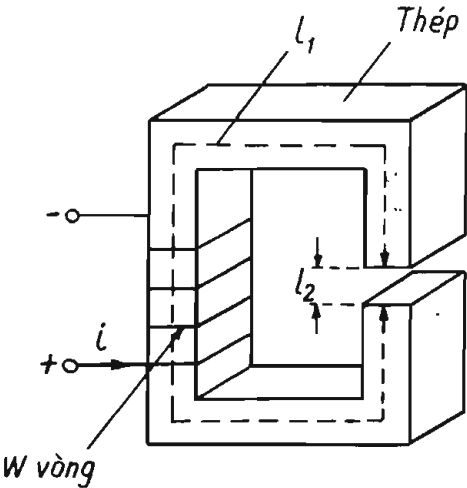
Mạch từ (hình 7.12) của một nam châm điện gồm 2 đoạn : đoạn 1 bằng thép dài l<sub>1</sub>, đoạn 2 là khe hở không khí có chiều dài l<sub>2</sub>, cuộn dây có W vòng và dòng điện i. Giả thiết hệ số từ thẩm của thép vô cùng lớn. Tính từ cảm B<sub>2</sub> trong khe hở.

Bài giải

Áp dụng định luật mạch từ

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 = wi.$$

Vì rằng hệ số từ thẩm của thép vô cùng lớn, cường độ từ trường trong thép bằng không, từ áp của đoạn 1 H<sub>1</sub>l<sub>1</sub> = 0 do đó



Hình 7.12.

$$H_2 l_2 = w i.$$

Vậy từ cảm  $B_2$  là

$$B_2 = \mu_0 H_2 = \mu_0 \frac{w i}{l_2}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m.}$$

### Bài số 7.2.

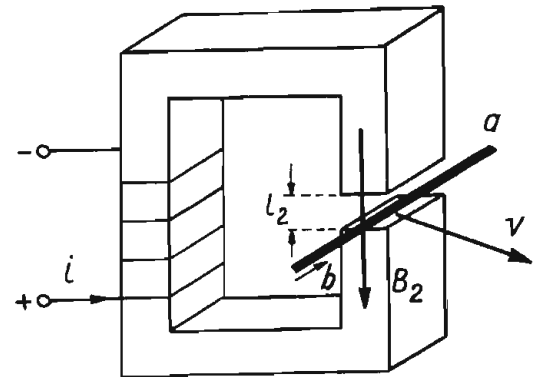
Một thanh dẫn  $ab$  có chiều dài  $l$  nằm trong khe hở của một nam châm điện (bài tập 7.1). Cho thanh dẫn chuyển động thẳng góc với từ trường với tốc độ  $v$ . Xác định trị số và chiều sức điện động cảm ứng  $e$ .

#### Bài giải

Từ cảm  $B_2$  trong khe hở đã tính ở bài số 7.1.  $B_2 = \frac{\mu_0 w i}{l_2}$ . Chiều của từ cảm  $B_2$  được xác định theo quy tắc vụn nút chai. Trị số sức điện động cảm ứng trong thanh dẫn là

$$e = B_2 l v = \frac{\mu_0 w i l v}{l_2}$$

Áp dụng quy tắc bàn tay phải chiều  $sdd$   $e$  từ  $b$  đến  $a$  (hình 7.13).



Hình 7.13.

### Bài số 7.3.

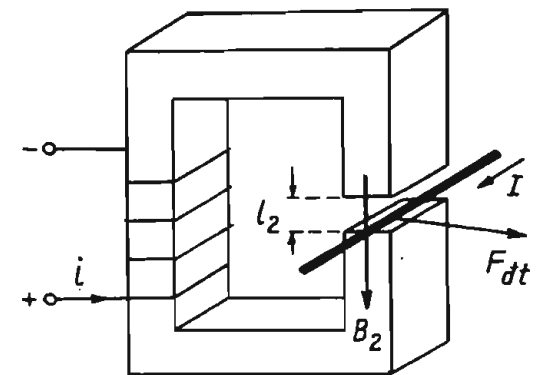
Một thanh dẫn  $ab$  có chiều dài  $l$  nằm trong khe hở của nam châm điện (bài số 7.1). Xác định trị số và chiều của lực điện từ tác dụng lên thanh dẫn khi thanh dẫn mang dòng điện  $I$ .

#### Bài giải

Trị số của lực điện từ là

$$F_{dt} = B_2 I l = \frac{\mu_0 w I l i}{l_2}$$

Áp dụng quy tắc bàn tay trái xác định được chiều của  $F_{dt}$  như hình 7.14.



Hình 7.14.

### Bài số 7.4.

Một mạch từ (hình 7.15). Đường cong từ hoá  $B = f(H)$  của vật liệu cho ở bảng sau :

B(T)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7
H (A/m)	52	58	65	76	90	110	132	165	220	300	380	600	900	1200	2000	3000	4500	6000	10000	14000

Cho biết từ cảm trong khe hở  $B_2 = 1,3 \text{ T}$  và cuộn dây có 1000 vòng. Tính dòng điện trong cuộn dây.

*Bài giải*

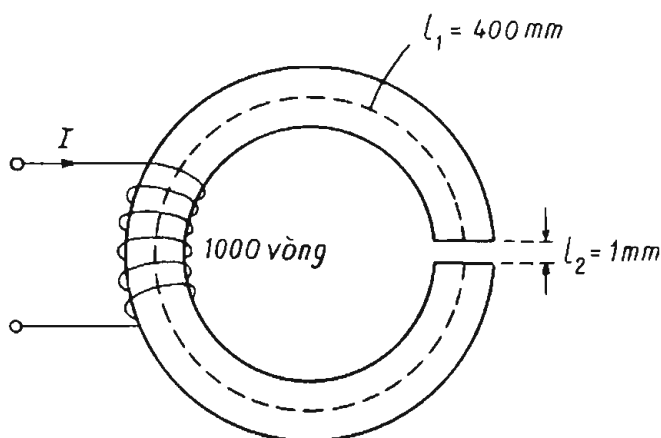
Áp dụng định luật mạch từ

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 = wI$$

Cường độ từ trường trong khe hở không khí

$$H_2 = \frac{B_2}{\mu_0} = \frac{1,3}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 1035032 \text{ A/m}$$

Cường độ từ trường trong đoạn thép từ  $B_1 = 1,3 \text{ T}$  tra bảng được  $H_1 = 600 \text{ A/m}$ .



Hình 7.15.

$$600 \cdot 0,4 + 1035032 \cdot 0,001 = 1000 I$$

Từ đó 
$$I = \frac{1275}{1000} = 1,275 \text{ A.}$$

**Bài số 7.5.**

Mạch từ hình 7.16 gồm 3 cuộn dây

$$w_1 = 2000 \text{ vòng; } I_1 = 0,5 \text{ A}$$

$$w_2 = 400 \text{ vòng; } I_2 = 1 \text{ A}$$

$$w_3 = 1000 \text{ vòng.}$$

Đường cong từ hoá của vật liệu

$B = f(H)$  cho ở bài số 7.4.

Cho biết từ thông trong lõi thép bằng  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$ .

Xác định dòng điện  $I_3$ .

*Bài giải*

Chọn chiều từ thông như hình 7.16.

Từ cảm trong lõi thép

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \text{ T}$$

Tra bảng đường cong từ hoá ở bài số 7.4

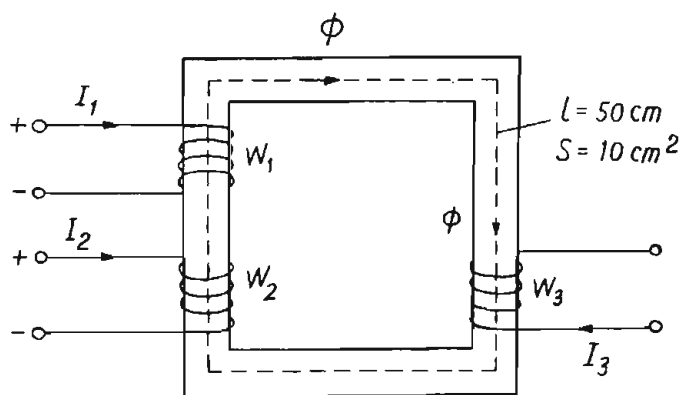
Từ trị số  $B = 1,5 \text{ T}$  ;  $H = 3000 \text{ A/m}$

Áp dụng định luật mạch từ

$$Hl = w_1 I_1 - w_2 I_2 + w_3 I_3$$

$$I_3 = \frac{Hl - w_1 I_1 + w_2 I_2}{w_3} = \frac{3000 \cdot 0,5 - 2000 \cdot 0,5 + 400 \cdot 1}{1000}$$

$$I_3 = 0,9 \text{ A.}$$



Hình 7.16.

## BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ CHƯƠNG 7

### Bài số 7-6

Một mạch từ có tiết diện đồng nhất, chiều dài trung bình phần thép  $l_t = 100$  mm, chiều dài khe hở không khí  $l_k = 0,1$  mm. Từ cảm  $B = 1,1$  T. Đường cong từ hóa  $B = f(H)$  của thép xem ở bài 7-4, số vòng dây  $W = 10$  vòng. Tính dòng điện  $I$  chạy trong cuộn dây.

Đáp số:  $I = 10,95$  A.

### Bài số 7-7

Cho mạch từ như hình vẽ 7.17.

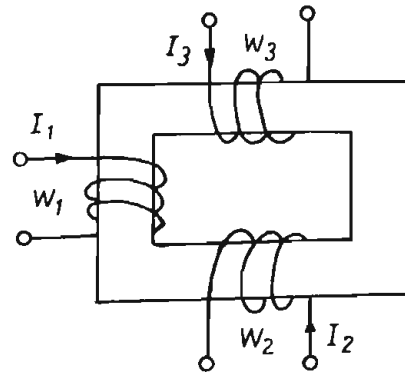
$W_1 = 1000$  vòng;  $W_2 = 100$  vòng

$W_3 = 500$  vòng.

Mạch từ làm bằng vật liệu có hệ số từ thẩm  $\mu$  vô cùng lớn.

Xác định quan hệ giữa các dòng điện  $I_1, I_2, I_3$

Đáp số:  $10I_1 - I_2 + 5I_3 = 0$



Hình 7.17



## Chương 8

# MÁY BIẾN ÁP

### § 8.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Để biến đổi điện áp của dòng điện xoay chiều từ điện áp cao xuống điện áp thấp, hoặc ngược lại từ điện áp thấp lên điện áp cao, ta dùng máy biến áp. Ngày nay do việc sử dụng điện năng phát triển rất rộng rãi, nên có những loại máy biến áp khác nhau : máy biến áp một pha, ba pha, hai dây quấn, ba dây quấn v.v... nhưng chúng dựa trên cùng một nguyên lý, đó là nguyên lý cảm ứng điện từ.

#### 8.1.1. Định nghĩa

Máy biến áp là một thiết bị điện từ tĩnh, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện xoay chiều nhưng vẫn giữ nguyên tần số. Hệ thống điện đầu vào máy biến áp (trước lúc biến đổi) có : điện áp  $U_1$ , dòng điện  $I_1$ , tần số  $f$ . Hệ thống điện đầu ra của máy biến áp (sau khi biến đổi) có : điện áp  $U_2$ , dòng điện  $I_2$  và tần số  $f$ . Trong các bản vẽ, máy biến áp được ký hiệu như hình 8.1.

Đầu vào của máy biến áp nối với nguồn điện, được gọi là sơ cấp. Đầu ra nối với tải gọi là thứ cấp. Các đại lượng, các thông số sơ cấp trong ký hiệu có ghi chỉ số 1 : số vòng dây sơ cấp  $w_1$ , điện áp sơ cấp  $U_1$ , dòng điện sơ cấp  $I_1$ , công suất sơ cấp  $P_1$ . Các đại lượng và thông số thứ cấp có chỉ số 2 : số vòng dây thứ cấp  $w_2$ , điện áp thứ cấp  $U_2$ , dòng điện thứ cấp  $I_2$ , công suất thứ cấp  $P_2$ .



Hình 8.1

Nếu điện áp thứ cấp lớn hơn sơ cấp là máy biến áp tăng áp. Nếu điện áp thứ cấp nhỏ hơn điện áp sơ cấp gọi là máy biến áp giảm áp.

#### 8.1.2. Các lượng định mức

Các lượng định mức của máy biến áp do xưởng chế tạo máy biến áp qui định để cho máy có khả năng làm việc lâu dài và tốt nhất.

Ba đại lượng định mức cơ bản là :

a) *Điện áp định mức.* Điện áp sơ cấp định mức ký hiệu  $U_{1dm}$ , là điện áp quy định cho dây quấn sơ cấp. Điện áp thứ cấp định mức ký hiệu  $U_{2dm}$ , là điện áp giữa các cực của dây quấn thứ cấp, khi dây quấn thứ cấp hở mạch và điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp là định mức. Người ta qui ước, với máy biến áp một pha điện áp

định mức là điện áp pha, với máy biến áp ba pha là điện áp dây. Đơn vị điện áp ghi trên máy thường là V hoặc kV.

b) *Dòng điện định mức.* Dòng điện định mức là dòng điện đã qui định cho mỗi dây quấn của máy biến áp, ứng với công suất định mức và điện áp định mức. Đối với máy biến áp một pha dòng điện định mức là dòng điện pha. Đối với máy biến áp ba pha, dòng điện định mức là dòng điện dây. Đơn vị dòng điện ghi trên máy thường là A. Dòng điện sơ cấp định mức ký hiệu  $I_{1dm}$ , dòng điện thứ cấp định mức ký hiệu  $I_{2dm}$ .

c) *Công suất định mức.* Công suất định mức của máy biến áp là công suất biểu kiến định mức. Công suất định mức ký hiệu là  $S_{dm}$ , đơn vị là VA, kVA. Đối với máy biến áp một pha công suất định mức là :

$$S_{dm} = U_{2dm}I_{2dm} = U_{1dm}I_{1dm} \quad (8.1)$$

Đối với máy biến áp ba pha công suất định mức là :

$$S_{dm} = \sqrt{3} U_{2dm}I_{2dm} = \sqrt{3} U_{1dm}I_{1dm} \quad (8.2)$$

Ngoài ra trên biển máy còn ghi tần số định mức  $f_{dm}$ , số pha, sơ đồ nối dây, điện áp ngắn mạch, chế độ làm việc v.v...

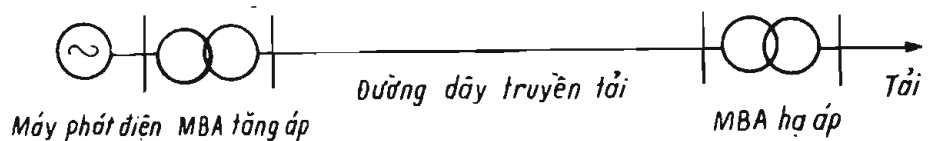
### 8.1.3. Công dụng của máy biến áp

Máy biến áp có vai trò quan trọng trong hệ thống điện, dùng để truyền tải và phân phối điện năng. Các nhà máy điện công suất lớn thường ở xa các trung tâm tiêu thụ điện (khu công nghiệp, đô thị v.v...) vì thế cần phải xây dựng các đường dây truyền tải điện

năng. Điện áp máy phát thường là 6,3 ; 10,5 ; 15,75 ; 38,5 kV.

Để nâng cao khả năng truyền tải và giảm tổn hao công suất trên đường dây, phải giảm

dòng điện chạy trên đường dây, bằng cách nâng cao điện áp. Vì vậy ở đầu đường dây cần đặt máy biến áp tăng áp. Mặt khác điện áp của tải thường khoảng 127 V đến 500 V ; động cơ công suất lớn thường 3 hoặc 6 kV, vì vậy ở cuối đường dây cần đặt máy biến áp giảm áp (hình 8.2).



Hình 8.2

Ngoài ra máy biến áp còn được sử dụng, trong các thiết bị lò nung (máy biến áp lò), trong hàn điện (máy biến áp hàn) làm nguồn cho các thiết bị điện, điện tử cần nhiều cấp điện áp khác nhau, trong lĩnh vực đo lường (máy biến dòng, máy biến điện áp) v.v...

## § 8.2. CẤU TẠO CỦA MÁY BIẾN ÁP

Máy biến áp có 2 bộ phận chính : lõi thép và dây quấn.

### 8.2.1. Lõi thép máy biến áp

Lõi thép máy biến áp dùng để dẫn từ thông chính của máy, được chế tạo từ những vật liệu dẫn từ tốt, thường là thép kỹ thuật điện. Lõi thép gồm hai bộ phận :

- Trụ là nơi để đặt dây quấn
- Gông là phần khép kín mạch từ giữa các trụ.

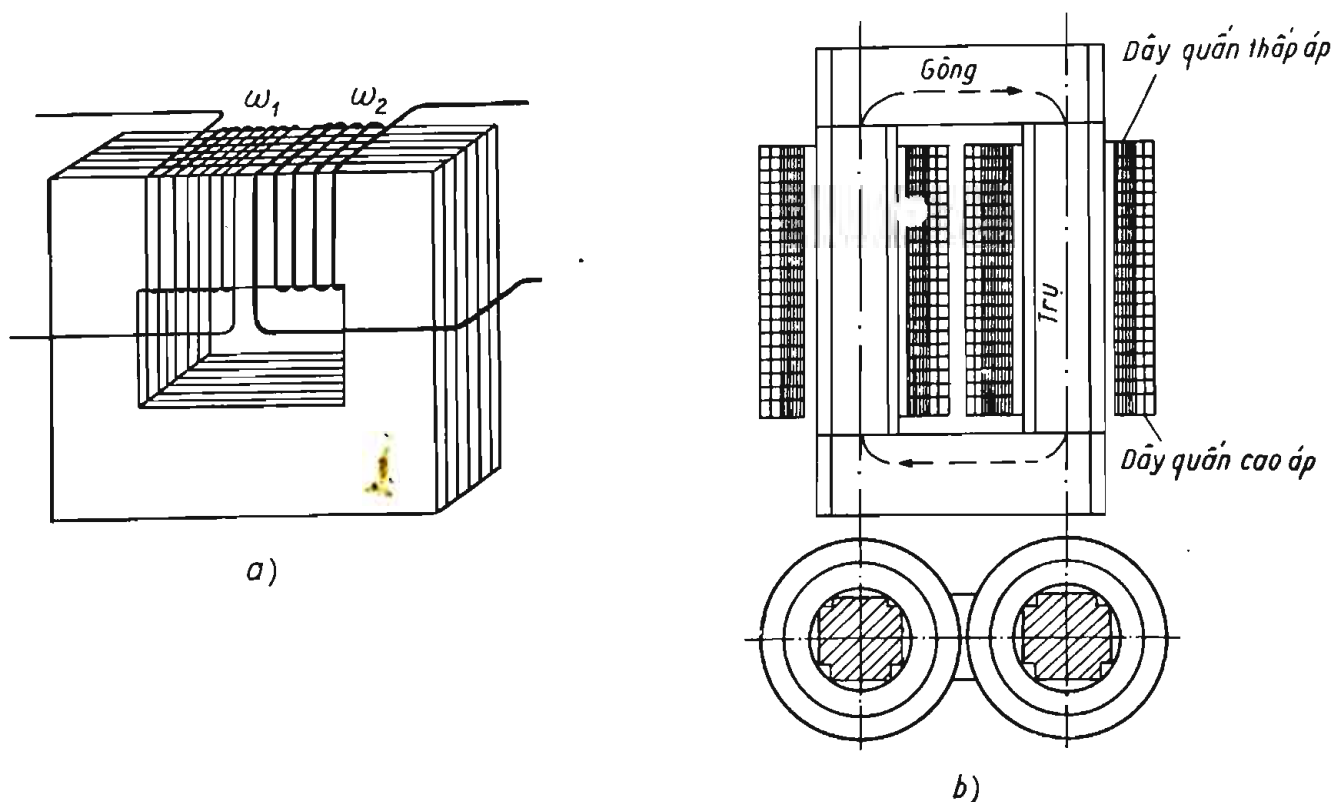
Trụ và gông tạo thành mạch từ khép kín.

Để giảm dòng điện xoáy trong lõi thép, người ta dùng thép lá kỹ thuật điện (dày 0,35 mm đến 0,5 mm, hai mặt có sơn cách điện) ghép lại với nhau thành lõi thép (hình 8.3a).

### 8.2.2. Dây quấn máy biến áp

Dây quấn máy biến áp thường được chế tạo bằng dây đồng (hoặc nhôm), có tiết diện tròn hoặc chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện.

Dây quấn gồm nhiều vòng dây và lồng vào trụ lõi thép. Giữa các vòng dây, giữa các dây quấn có cách điện với nhau và các dây quấn có cách điện với lõi thép. Máy biến áp thường có hai hoặc nhiều dây quấn. Khi các dây quấn đặt trên cùng một trụ, thì dây quấn thấp áp đặt sát trụ thép, dây quấn cao áp đặt lồng ra ngoài. Làm như vậy sẽ giảm được vật liệu cách điện (hình 8.3b).



Hình 8.3

Để làm mát và tăng cường cách điện cho máy biến áp, người ta thường đặt lõi thép và dây quấn trong một thùng chứa dầu máy biến áp. Đối với máy biến áp công suất lớn, vỏ thùng dầu có cánh tản nhiệt. Ngoài ra còn có các sứ xuyên ra để nối

các đầu dây quấn ra ngoài, bộ phận chuyển mạch để điều chỉnh điện áp; rô le hơi để bảo vệ máy, bình dẫn dầu, thiết bị chống ẩm v.v.. (hình 8.4).

### § 8.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY BIẾN ÁP

Trên hình 8.5 vẽ sơ đồ nguyên lý của máy biến áp một pha có hai dây quấn  $w_1$  và  $w_2$ .

Khi ta nối dây quấn sơ cấp  $w_1$  vào nguồn điện xoay chiều điện áp  $u_1$ , sẽ có dòng điện sơ cấp  $i_1$  chạy trong dây quấn sơ cấp  $w_1$ . Dòng điện  $i_1$  sinh ra từ thông biến thiên chạy trong lõi thép, từ thông này móc vòng (xuyên qua) đồng thời với cả hai dây quấn sơ cấp  $w_1$  và thứ cấp  $w_2$ , được gọi là từ thông chính.

Theo định luật cảm ứng điện từ, sự biến thiên của từ thông làm cảm ứng vào dây quấn sơ cấp sức điện động là :

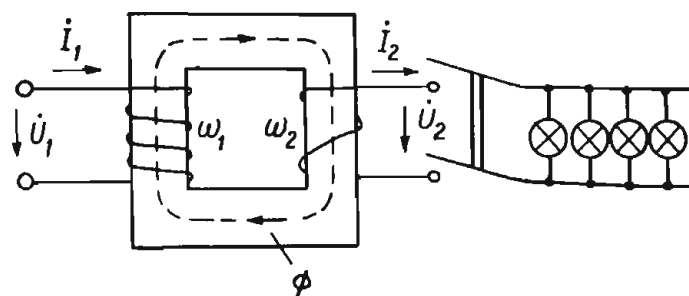
$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} , \quad (8.3)$$

và cảm ứng vào dây quấn thứ cấp sức điện động là :

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} , \quad (8.4)$$

trong đó  $W_1$ ,  $W_2$  là số vòng của dây quấn sơ cấp và thứ cấp. Khi máy biến áp không tải, dây quấn thứ cấp hở mạch, dòng điện thứ cấp  $I_2 = 0$ , từ thông chính trong lõi thép chỉ do dòng sơ cấp  $I_0$  sinh ra.

Khi máy biến áp có tải, dây quấn thứ cấp nối với tải có tổng trở tải  $Z_t$ , dưới tác động của sức điện động  $e_2$ , có dòng điện thứ cấp  $i_2$  cung cấp điện cho tải. Khi ấy từ thông chính do đồng thời cả hai dòng sơ cấp  $i_1$  và thứ cấp  $i_2$  sinh ra.



Hình 8.5

Điện áp  $u_1$  sin nên từ thông cũng biến thiên sin ta có :

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t.$$

$$e_1 = -w_1 \frac{d(\Phi_{\max} \sin \omega t)}{dt} = 4,44 f w_1 \Phi_{\max} \sqrt{2} \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) =$$

$$= E_1 \sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (8.5)$$

$$\begin{aligned} e_2 &= -w_2 \frac{d(\Phi_{\max} \sin \omega t)}{dt} = 4,44fw_2 \Phi_{\max} \sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \\ &= E_2 \sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned} \quad (8.6)$$

trong đó

$$E_1 = 4,44fw_1 \Phi_{\max}, \quad (8.7)$$

$$E_2 = 4,44fw_2 \Phi_{\max}, \quad (8.8)$$

$E_1, E_2$  là trị số hiệu dụng sức điện động sơ cấp, thứ cấp.

Nhìn công thức (8.5) và (8.6) ta thấy : sức điện động thứ cấp và sơ cấp có cùng tần số, nhưng trị số hiệu dụng khác nhau.

Nếu chia  $E_1$  cho  $E_2$  ta có :

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad (8.9)$$

$k$  được gọi là hệ số biến áp.

Nếu bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài không khí, có thể coi gần đúng  $U_1 \approx E_1, U_2 \approx E_2$  ta có :

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = k,$$

nghĩa là tỷ số điện áp sơ cấp và thứ cấp đúng bằng tỷ số vòng dây.

Đối với máy tăng áp có :  $U_2 > U_1 ; w_2 > w_1$

Đối với máy giảm áp có :  $U_2 < U_1 ; w_2 < w_1$

Như vậy dây quấn sơ cấp và thứ cấp không trực tiếp liên hệ với nhau về điện nhưng nhờ có từ thông chính, năng lượng đã được truyền từ dây quấn sơ cấp sang thứ cấp.

Nếu bỏ qua tổn hao trong máy biến áp, có thể coi gần đúng, quan hệ giữa các lượng sơ cấp và thứ cấp như sau :

$$U_2 I_2 \approx U_1 I_1$$

$$\text{hoặc} \quad \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \approx k. \quad (8.10)$$

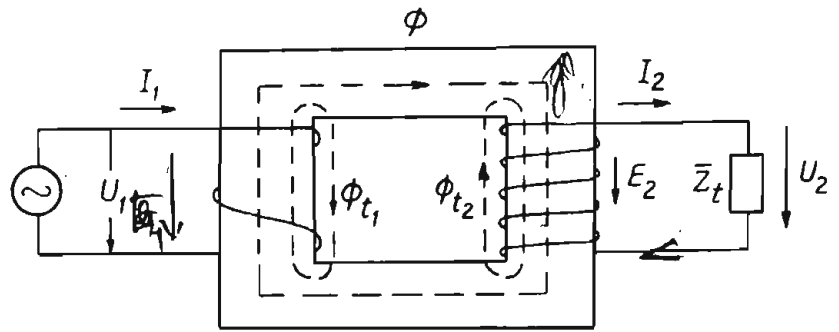
## § 8.4. MÔ HÌNH TOÁN CỦA MÁY BIẾN ÁP

Để thiết lập mô hình toán trước hết xét quá trình điện từ trong máy biến áp.

### 8.4.1. Quá trình điện từ trong máy biến áp

Trên hình 8.6 trình bày máy biến áp một pha hai dây quấn, trong đó dây quấn sơ cấp nối với nguồn, dây quấn thứ cấp nối với tải có tổng trở  $\bar{Z}_t$ . Điện áp  $u_1$  sinh ra dòng điện  $i_1$  có chiều như hình 8.6. Theo quy tắc vắn nút chai, chiều  $\Phi$  phù hợp với chiều  $i_1$ , chiều  $e_1$ ,  $e_2$  phù hợp với chiều  $\Phi$  nghĩa là  $e_1$  và  $i_1$  trùng chiều. Chiều  $i_2$  được chọn ngược với chiều  $e_2$ , nghĩa là chiều  $i_2$  không phù hợp chiều  $\Phi$  theo quy tắc trên. Dòng điện  $i_1$  và  $i_2$  sinh ra từ thông trong máy.

Ngoài từ thông chính  $\Phi$  chạy trong lõi thép như đã nói ở trên, trong máy biến áp còn có từ thông tản. Từ thông tản không chạy trong lõi thép mà chạy tản ra trong không khí, các vật liệu cách điện v.v... Từ thông tản khép mạch qua các vật liệu không sắt từ, có độ dẫn từ kém, do đó từ thông tản nhỏ rất nhiều so với từ thông chính. Từ thông tản chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi dây quấn. Từ thông tản móc vòng sơ cấp ký hiệu là  $\psi_{t1}$  do dòng điện sơ cấp  $i_1$  gây ra. Từ thông tản móc vòng thứ cấp  $\psi_{t2}$ , do dòng điện thứ cấp  $i_2$  gây ra. Ở chương 1 đã biết, từ thông tản được đặc trưng bằng điện cảm tản (công thức 1.11, §1.3.4).



Hình 8.6.

Điện cảm tản dây quấn sơ cấp  $L_1$  là :

$$L_1 = \frac{\psi_{t1}}{i_1} \quad (8.11)$$

Điện cảm tản dây quấn thứ cấp  $L_2$  là :

$$L_2 = \frac{\psi_{t2}}{i_2} \quad (8.12)$$

### 8.4.2. Phương trình điện áp sơ cấp

Chúng ta hãy xét mạch điện sơ cấp, gồm nguồn điện áp  $u_1$ , sức điện động  $e_1$ , điện trở dây quấn sơ cấp  $R_1$ , điện cảm tản sơ cấp  $L_1$ . Áp dụng định luật Kiếchốp 2 ta có phương trình điện áp sơ cấp viết dưới dạng trị số tức thời là :

$$R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} = u_1 + e_1$$

hoặc chuyển vế ta có :

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - e_1 \quad (8.13)$$

Nếu viết dưới dạng số phức :

Tổng trở phức dây quấn sơ cấp là :

$$\bar{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = R_1 + jX_1 \quad (8.14)$$

trong đó  $X_1 = \omega L_1$  là điện kháng tản dây quấn sơ cấp.

Phương trình điện áp sơ cấp viết dưới dạng số phức là :

$$\dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 \quad (8.15)$$

### 8.4.3. Phương trình điện áp thứ cấp

Mạch điện thứ cấp gồm sức điện động  $e_2$ , điện trở dây quấn thứ cấp  $R_2$ , điện cảm tản dây quấn thứ cấp  $L_2$ , tổng trở tải  $Z_t$ . Phương trình Kiếchốp 2 viết dưới dạng trị số tức thời là

$$R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + u_2 = -e_2$$

hoặc chuyển về ta có .

$$u_2 = -e_2 - R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (8.16)$$

Nếu viết dưới dạng số phức, tổng trở phức dây quấn thứ cấp là :

$$\bar{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2 = R_2 + jX_2 \quad (8.17)$$

trong đó  $X_2 = \omega L_2$  là điện kháng tản dây quấn thứ cấp.

Phương trình điện áp thứ cấp viết dưới dạng số phức sẽ là :

$$\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - R_2 \dot{I}_2 - jX_2 \dot{I}_2 = -\dot{E}_2 - \bar{Z}_2 \dot{I}_2 \quad (8.18)$$

Điện áp thứ cấp  $\dot{U}_2$  chính là điện áp đặt lên tải do đó :

$$\dot{U}_2 = \bar{Z}_t \dot{I}_2 \quad (8.19)$$

### 8.4.4. Phương trình sức từ động

Trong phương trình điện áp sơ cấp,  $\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \bar{Z}_1 - \dot{E}_1$ , điện áp rơi  $\dot{I}_1 \bar{Z}_1$  thường rất nhỏ vì thế có thể lấy gần đúng  $U_1 \approx E_1$ .

Vì điện áp lưới điện đặt vào máy biến áp  $U_1$  không đổi, cho nên sức điện động  $E_1$  không đổi và từ thông chính  $\Phi_{\max}$  sẽ không đổi. Ở chế độ không tải, từ thông chính do sức từ động của dây quấn sơ cấp  $i_0 w_1$  sinh ra, còn ở chế độ có tải, từ thông chính do sức từ động cả 2 dây quấn sơ cấp và thứ cấp sinh ra. Sức từ động lúc có tải là  $i_1 w_1 - i_2 w_2$ . Có dấu - trước  $i_2$  vì  $i_2$  sinh ra từ thông ngược với chiều  $\Phi$  chính đã chọn (hình 8.6).

Vì  $\Phi_{\max}$  không đổi, cho nên sức từ động không tải bằng sức từ động lúc có tải, do đó ta có phương trình sức từ động dưới dạng tức thời như sau :

$$i_0 w_1 = i_1 w_1 - i_2 w_2$$

Chia cả hai vế cho  $w_1$  ta có :

$$i_0 = i_1 - i_2 \frac{w_2}{w_1} = i_1 - \frac{i_2}{\frac{w_1}{w_2}} = i_1 - \frac{i_2}{k} = i_1 - i'_2$$

hoặc  $i_1 = i_0 + i'_2$  , (8.20)

trong đó :

$$k = \frac{w_1}{w_2} \quad \text{hệ số biến áp}$$

$$i'_2 = \frac{i_2}{k}$$

$i'_2$  là dòng điện thứ cấp đã qui đổi về phía sơ cấp.

Phương trình sức từ động dưới dạng phức là :

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (8.21)$$

Phương trình sức từ động cho ta thấy rõ quan hệ giữa dòng điện sơ cấp và thứ cấp.

Hệ ba phương trình điện và từ (8.13, 8.16, 8.20, hoặc 8.15, 8.18, 8.21) là mô hình toán của máy biến áp.

## § 8.5. SƠ ĐỒ THAY THẾ MÁY BIẾN ÁP

Từ mô hình toán :

$$\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 \quad (8.22)$$

$$\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 - \bar{Z}_2 \dot{I}_2 \quad (8.23)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (8.24)$$

Ta xây dựng mô hình mạch, đó là sơ đồ điện, gọi là sơ đồ thay thế, phản ánh đầy đủ quá trình năng lượng trong máy biến áp, thuận lợi cho việc phân tích, nghiên cứu máy biến áp.

Để xây dựng sơ đồ thay thế, trước hết cần thực hiện một số biến đổi toán học.

### 8.5.1. Qui đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp

Nhân phương trình (8.23) với  $k$ , phương trình (8.23) sẽ là :



$$k\dot{U}_2 = -k\dot{E}_2 - k\bar{Z}_2\dot{I}_2 = -k\dot{E}_2 - k^2\bar{Z}_2\frac{\dot{I}_2}{k}$$

Đặt  $\dot{E}'_2 = k\dot{E}_2 = \dot{E}_1$  (8.25)

$$\dot{U}'_2 = k\dot{U}_2$$
 (8.26)

$$\bar{Z}'_2 = k^2\bar{Z}_2; R'_2 = k^2R_2; X'_2 = k^2X_2$$
 (8.27)

Phương trình (8.23) trở thành

$$\dot{U}'_2 = -\dot{E}_1 - \bar{Z}'_2\dot{I}'_2$$
 (8.28)

Nhân phương trình (8.19) với k

$$U_2 = k\dot{U}_2 = kZ_1\dot{I}_2 = k^2\bar{Z}_1\frac{\dot{I}_2}{k} = \bar{Z}_2\dot{I}_2$$
 (8.29)

trong đó

$$\bar{Z}'_1 = k^2\bar{Z}_1; R'_1 = k^2R_1; X'_1 = k^2X_1$$

$$I'_2 = \frac{I_2}{k}$$
 (8.30)

Phương trình (8.28), (8.29) là phương trình điện áp thứ cấp đã qui đổi về sơ cấp. Trong đó  $\dot{E}'_2$ ,  $\dot{U}'_2$ ,  $\dot{I}'_2$ ,  $\bar{Z}'_2$ ,  $\bar{Z}'_1$  lần lượt được gọi là sức điện động, điện áp thứ cấp, dòng điện thứ cấp, tổng trở dây quấn thứ cấp, tổng trở tải đã qui đổi về sơ cấp.

Hệ (8.25, 26, 27, 30) là các công thức qui đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp.

Ta biết rằng, điều kiện qui đổi là bảo toàn năng lượng. Điều kiện đó đã được đảm bảo trong quá trình biến đổi trên. Thực vậy, công suất trên các phần tử trước và sau khi qui đổi bằng nhau.

$$\text{Ví dụ : } E_2I'_2 = kE_2\frac{I_2}{k} = E_2I_2; R'_2I'^2_2 = k^2R_2\left(\frac{I_2}{k}\right)^2 = R_2I_2^2$$

### 8.5.2. Thiết lập sơ đồ thay thế máy biến áp

Bây giờ ta xét phương trình (8.22), vế phải phương trình gồm :  $Z_1I_1$  là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn  $Z_1$ , và  $(-E_1)$  chính là điện áp rơi trên tổng trở  $Z_{th}$  đặc trưng cho từ thông chính, và tổn hao sắt từ. Vì từ thông chính do dòng điện không tải  $I_0$  sinh ra do đó ta có thể viết :

$$-E_1 = (R_{th} + jX_{th})\dot{I}_0 = \bar{Z}_{th}\dot{I}_0$$
 (8.31)

trong đó :

$\bar{Z}_{th} = R_{th} + jX_{th}$  là tổng trở từ hóa đặc trưng cho mạch từ  
 $R_{th}$  là điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn hao sắt từ

$$\Delta P_{st} = R_{th} I_0^2$$

$X_{th}$  là điện kháng từ hóa đặc trưng cho từ thông chính  $\Phi$ .

Thay giá trị  $-E_1$  vào hệ 3 phương trình máy biến áp, cuối cùng ta có :

$$\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 + \bar{Z}_{th} \dot{I}_0 \quad (8.32)$$

$$\dot{U}'_2 = \bar{Z}_{th} \dot{I}_0 + \bar{Z}'_2 \dot{I}'_2 \quad (8.33)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (8.34)$$

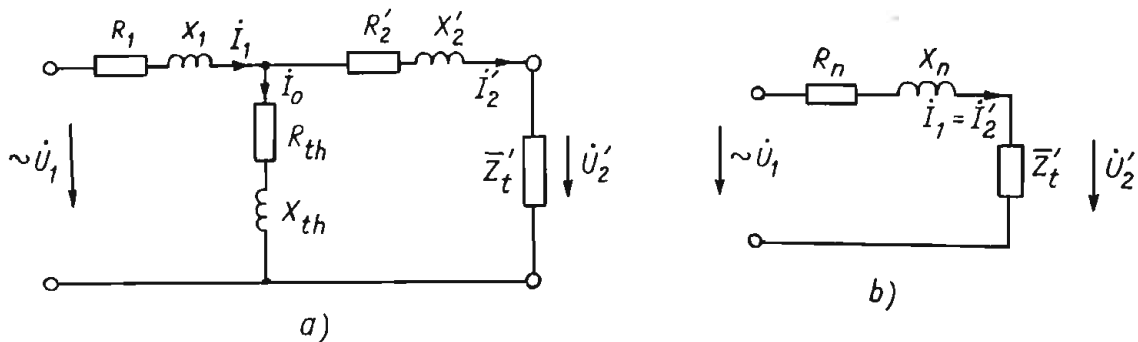
Hệ 3 phương trình (8.32, 33, 34) chính là 2 phương trình Kiếchốp 2 và 1 phương trình Kiếchốp 1 viết cho mạch điện hình 8.7a. Nhánh có  $Z_{th}$  được gọi là nhánh từ hóa.

Thông thường tổng trở nhánh từ hóa rất lớn, dòng điện  $I_0$  nhỏ, do đó có thể bỏ nhánh từ hóa, ta có sơ đồ thay thế gần đúng hình 8.7b.

Sơ đồ gần đúng được sử dụng nhiều trong tính toán các đặc tính của máy biến áp. Trong sơ đồ gần đúng hình 8.7b.

$$R_n = R_1 + R'_2$$

$$X_n = X_1 + X'_2$$



Hình 8.7

## § 8.6. CHẾ ĐỘ KHÔNG TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ không tải là chế độ mà phía thứ cấp hở mạch, phía sơ cấp đặt vào điện áp.

### 8.6.1. Phương trình và sơ đồ thay thế của máy biến áp không tải

Khi không tải  $I_2 = 0$  ta có :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_0 \bar{Z}_1 - \dot{E}_1$$

hoặc 
$$\dot{U}_1 = \dot{I}_0 (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_{th}) = \dot{I}_0 \bar{Z}_0 \quad (8.35)$$

$$\bar{Z}_0 = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_{th}, \text{ là tổng trở máy}$$

biến áp không tải.

Sơ đồ thay thế của máy biến áp không tải vẽ trên hình 8.8.

### 8.6.2. Các đặc điểm ở chế độ không tải

#### a) Dòng điện không tải

Từ phương trình trên, tính được dòng điện không tải như sau :

$$I_0 = \frac{U_1}{z_0} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_{th})^2 + (X_1 + X_{th})^2}}$$

Tổng trở  $z_0$  thường rất lớn vì thế dòng điện không tải nhỏ bằng  $2\% \div 10\%$  dòng điện định mức.

#### b) Công suất không tải

Ở chế độ không tải công suất đưa ra phía thứ cấp bằng không, song máy vẫn tiêu thụ công suất  $P_0$ . Công suất  $P_0$  gồm công suất tổn hao sắt từ  $\Delta P_{st}$  trong lõi thép và công suất tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp  $\Delta P_{R1}$ . Vì dòng điện không tải nhỏ cho nên có thể bỏ qua công suất tổn hao trên điện trở và coi gần đúng :

$$\Delta P_{st} \approx P_0 \quad (8.36a)$$

Tổn hao sắt từ  $\Delta P_{st}$  được tính dựa vào đặc tính của thép như sau :

$$\Delta P_{st} = p_{1,0/50} B^2 \left( \frac{f}{50} \right)^{1.3} G \quad (8.36b)$$

trong đó :  $p_{1,0/50}$  là suất tổn hao trong lá thép khi tần số 50 Hz và từ cảm 1 T.  
Đối với lá thép kỹ thuật điện 3413 dày 0,35 mm,  $p_{1,0/50} = 0,6 \text{ W/kg}$ .

$B$  từ cảm trong thép (T)

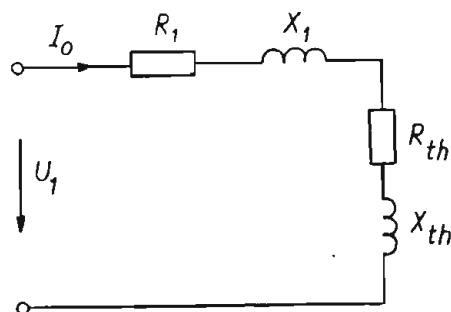
$G$  khối lượng thép (kg).

#### c) Hệ số công suất không tải

Công suất phản kháng không tải  $Q_0$  rất lớn so với công suất tác dụng không tải  $P_0$ . Hệ số công suất lúc không tải thấp.

$$\cos \varphi_0 = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + X_0^2}} = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}} = 0,1 \div 0,3$$

Từ những đặc điểm trên khi sử dụng không nên để máy ở tình trạng không tải hoặc non tải.

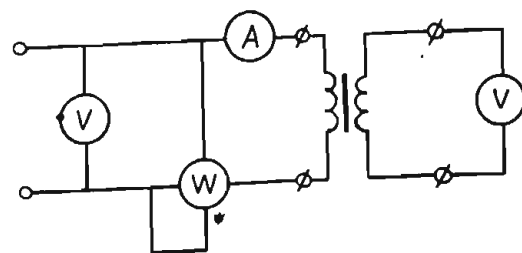


Hình 8.8

### 8.6.3. Thí nghiệm không tải của máy biến áp

Để xác định hệ số biến áp  $k$ , tổn hao sắt từ và các thông số của máy ở chế độ không tải, ta tiến hành thí nghiệm không tải. Sơ đồ thí nghiệm không tải vẽ trên hình 8.9.

Đặt điện áp định mức vào dây quấn sơ cấp, thứ cấp hở mạch, các dụng cụ đo cho ta các số liệu sau :



Hình 8.9

Oát kế chỉ công suất không tải  $P_o \approx \Delta P_{st}$

Ampe kế cho ta dòng điện không tải  $I_o$

Các vôn kế cho giá trị  $U_1, U_{20}$

Từ đó ta tính được :

a) Hệ số biến áp  $k$

$$k = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}}$$

b) Dòng điện không tải phần trăm

$$I_o\% = \frac{I_o}{I_{ldm}} 100\% = 3\% \div 10\%$$

$I_{ldm}$  là dòng điện định mức sơ cấp

c) Điện trở không tải

$$R_o = \frac{P_o}{I_o^2} \quad (8.37)$$

$$R_o = R_1 + R_{th}$$

Vì rằng  $R_{th} > R_1$  nên lấy gần đúng

$$R_{th} \approx R_o \quad (8.38)$$

d) Tổng trở không tải

$$z_o = \frac{U_{ldm}}{I_o} \quad (8.39)$$

Cũng như trên tổng trở từ hóa lấy gần đúng là :

$$z_{th} \approx z_o \quad (8.40)$$

e) Điện kháng không tải

$$X_o = \sqrt{z_o^2 - R_o^2} \quad (8.41)$$

Điện kháng từ hóa lấy gần đúng là :

$$X_{th} \approx X_o \quad (8.42)$$

g) Hệ số công suất không tải

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_{ldm} \cdot I_0} = 0,1 \div 0,3 . \quad (8.43)$$

## § 8.7. CHẾ ĐỘ NGẮN MẠCH CỦA MÁY BIẾN ÁP

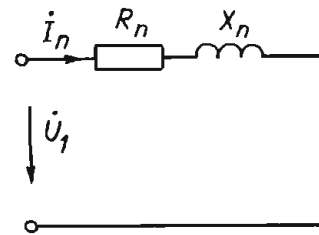
Chế độ ngắn mạch là chế độ mà phía thứ cấp bị nối tắt lại, sơ cấp vẫn đặt vào điện áp. Trong vận hành, do nhiều nguyên nhân làm máy biến áp bị ngắn mạch như hai dây dẫn điện ở phía thứ cấp chạm vào nhau, rơi xuống đất hoặc nối với nhau bằng một dây tổng trở rất nhỏ. Đây là tình trạng sự cố.

### 8.7.1. Phương trình và sơ đồ thay thế của máy biến áp ngắn mạch

Sơ đồ thay thế của máy biến áp ngắn mạch vẽ trên hình 8.10. Vì tổng trở  $z'_2$  rất nhỏ so với  $z_{th}$ , nên coi gần đúng có thể bỏ nhánh từ hóa. Dòng điện sơ cấp là dòng điện ngắn mạch  $I_n$ .

Phương trình điện áp là :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_n(\bar{Z}_1 + \bar{Z}'_2) = \dot{I}_n \bar{Z}_n , \quad (8.44)$$



Hình 8.10

trong đó

$$\begin{aligned} \bar{Z}_n &= (R_1 + R'_2) + j(X_1 + X'_2) = \\ &= R_n + jX_n = z_n e^{j\varphi_n} \end{aligned}$$

$R_n \approx R_1 + R'_2$  là điện trở ngắn mạch máy biến áp

$X_n = X_1 + X'_2$  là điện kháng ngắn mạch máy biến áp

$z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$  là tổng trở ngắn mạch máy biến áp

$\bar{Z}_n$  là tổng trở phức ngắn mạch máy biến áp.

### 8.7.2. Đặc điểm ở chế độ ngắn mạch

*Dòng điện ngắn mạch*

Từ phương trình trên ta có dòng điện ngắn mạch khi điện áp sơ cấp định mức.

$$I_n = \frac{U_{ldm}}{z_n} \quad (8.45)$$

Vì tổng trở ngắn mạch rất nhỏ cho nên dòng điện ngắn mạch thường lớn bằng  $10 \div 25$  lần dòng điện định mức, nguy hiểm đối với máy biến áp và ảnh hưởng đến các tải dung điện.

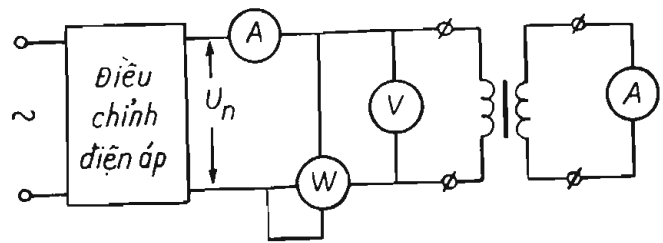
Từ các nhận xét trên, khi sử dụng máy biến áp cần tránh tình trạng ngắn mạch.

### 8.7.3. Thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp

Để xác định tổn hao trên điện trở dây quấn và xác định các thông số sơ cấp và thứ cấp, ta tiến hành thí nghiệm ngắn mạch.

Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch vẽ trên hình 8.11.

Dây quấn thứ cấp nối ngắn mạch.  
Dây quấn sơ cấp nối với nguồn qua bộ điều chỉnh điện áp. Nhờ bộ điều chỉnh điện áp ta có thể điều chỉnh điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng  $U_n$  sao cho dòng điện trong các dây quấn bằng định mức.  $U_n$  gọi là điện áp ngắn mạch, thường được tính theo phần trăm của điện áp sơ cấp định mức



Hình 8.11

$$U_n\% = \frac{U_n}{U_{ldm}} 100\% = 3\% \div 10\% \quad (8.46)$$

Lúc ngắn mạch điện áp thứ cấp  $U_2 = 0$  do đó điện áp ngắn mạch  $U_n$  là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn.

Vì điện áp ngắn mạch nhỏ, từ thông  $\Phi$  sẽ nhỏ, có thể bỏ qua tổn hao sắt từ. Công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch  $P_n$  chính là tổn hao trong điện trở 2 dây quấn. Từ đó ta tính được các thông số dây quấn trong sơ đồ thay thế.

a) Tổng trở ngắn mạch

$$z_n = \frac{U_n}{I_{ldm}} \quad (8.47)$$

b) Điện trở ngắn mạch

$$R_n = \frac{P_n}{I_{ldm}^2} \quad (8.48)$$

c) Điện kháng ngắn mạch

$$X_n = \sqrt{z_n^2 - R_n^2} \quad (8.49)$$

Để tính các thông số dây quấn của máy biến áp, thường dùng các công thức gần đúng sau :

$$R_1 \approx R'_2 \approx \frac{R_n}{2} \quad (8.50)$$

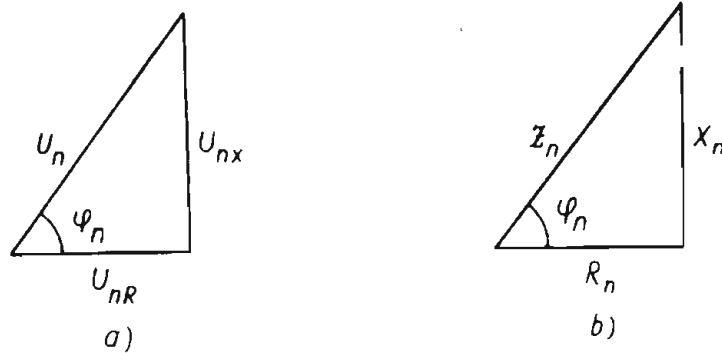
$$X_1 \approx X'_2 \approx \frac{X_n}{2} \quad (8.51)$$

Biết hệ số biến áp, tính được thông số thứ cấp chưa qui đổi

$$R_2 = \frac{R'_2}{k^2} \quad (8.52)$$

$$X_2 = \frac{X'_2}{k^2} \quad (8.53)$$

Hình 8.12a là tam giác điện áp ngắn mạch, hình 8.12b là tam giác tổng trở ngắn mạch.



Hình 8.12

Điện áp ngắn mạch  $U_n$  gồm hai thành phần : thành phần trên điện trở ngắn mạch  $R_n$  gọi là điện áp ngắn mạch tác dụng  $U_{nR}$  ; thành phần trên điện kháng ngắn mạch  $X_n$  gọi là điện áp ngắn mạch phản kháng  $U_{nX}$  (hình 8-12a).

d) Điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm

$$U_{nR}\% = \frac{R_n I_{ldm}}{U_{ldm}} 100\% = U_n\% \cos\varphi_n \quad (8.54)$$

e) Điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm

$$U_{nX}\% = \frac{X_n I_{ldm}}{U_{ldm}} 100\% = U_n\% \sin\varphi_n \quad (8.55)$$

$$\cos\varphi_n = \frac{R_n}{Z_n} ; \quad \sin\varphi_n = \frac{X_n}{Z_n}$$

## § 8.8. CHẾ ĐỘ CÓ TẢI CỦA MÁY BIẾN ÁP

Chế độ có tải là chế độ trong đó dây quấn sơ cấp nối vào nguồn điện áp định mức, dây quấn thứ cấp nối với tải. Để đánh giá mức độ tải, người ta đưa ra hệ số tải  $k_t$ ,

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} \approx \frac{I_1}{I_{1dm}}$$

$k_t = 1$  tải định mức

$k_t < 1$  non tải

$k_t > 1$  quá tải

Ở chế độ tải, phương trình điện áp và dòng điện đã xét ở §8.4 (công thức 8.13, 8.16, 8.20 hoặc 8.15, 8.18, 8.21), sơ đồ thay thế đã xét ở §8.5 (hình 8.7a,b). Các thông số của sơ đồ thay thế được xác định bằng các thí nghiệm không tải và ngắn mạch (§8.6, 8.7).

Dưới đây ta dựa vào hệ phương trình và sơ đồ thay thế để nghiên cứu một số đặc tính làm việc lúc có tải.

### 8.8.1. Độ biến thiên điện áp thứ cấp theo tải. Đường đặc tính ngoài

a) Độ biến thiên điện áp thứ cấp.

Máy biến áp có tải, sự thay đổi tải gây nên sự thay đổi điện áp thứ cấp  $U_2$ . Khi điện áp sơ cấp định mức, độ biến thiên điện áp thứ cấp  $\Delta U_2$  là :

$$\Delta U_2 = U_{2dm} - U_2$$

Độ biến thiên điện áp thứ cấp phần trăm tính như sau :

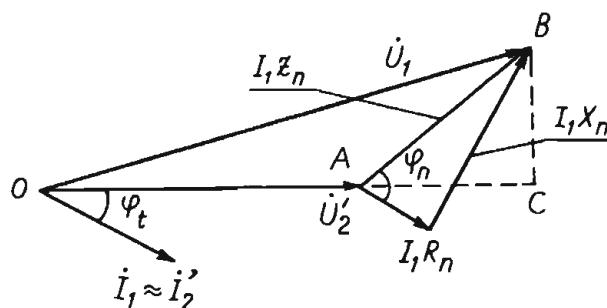
$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{2dm} - U_2}{U_{2dm}} 100\% \quad (8.57)$$

Nhân tử và mẫu với hệ số biến áp  $k = \frac{w_1}{w_2}$  ta có

$$\Delta U_2 \% = \frac{kU_{2dm} - kU_2}{kU_{2dm}} 100\% = \frac{U_{1dm} - U'_2}{U_{1dm}} 100\% \quad (8.58)$$

Đồ thị vectơ của máy biến áp ứng với sơ đồ thay thế gần đúng vẽ trên hình 8.13.

Để tính  $\Delta U_2$  ta chiếu  $U_1$  lên  $U'_2$ . Theo đồ thị thấy rằng, góc lệch pha giữa  $U_1$  và  $U'_2$  không lớn, có thể coi gần đúng.



Hình 8.13

$$U_{1dm} = OB \approx OC$$

$$\begin{aligned} U_{1dm} - U'_2 &\approx AC = AB \cos(\varphi_n - \varphi_t) = \\ &= I_1 z_n \cos(\varphi_n - \varphi_t) \\ &= I_1 z_n \cos \varphi_n \cos \varphi_t + I_1 z_n \sin \varphi_n \sin \varphi_t \end{aligned} \quad (8.59a)$$

$\varphi_n$  là góc của tổng trở ngắn mạch (§8.7)

$\varphi_t$  là góc lệch pha giữa điện áp  $U_2$  và dòng điện  $I_2$ , chính là góc của tổng trở tải :

$$\varphi_t = \arctg \frac{X_t}{R_t}$$

$$\begin{aligned} \text{Vậy } \Delta U_2 \% &= \frac{I_1 z_n \cos \varphi_n \cos \varphi_t + I_1 z_n \sin \varphi_n \sin \varphi_t}{U_{1dm}} 100\% = \\ &= k_t \left( \frac{I_{1dm} z_n \cos \varphi_n \cos \varphi_t + I_{1dm} z_n \sin \varphi_n \sin \varphi_t}{U_{1dm}} \right) 100\% = \end{aligned}$$



$$= k_t (U_{nR}\% \cos\varphi_t + U_{nX}\% \sin\varphi_t) , \quad (8.59b)$$

trong đó hệ số tải  $k_t = \frac{I_l}{I_{ldm}}$

$$U_{nR}\% = \frac{I_{ldm} z_n \cos\varphi_n}{U_{ldm}} 100\% = U_n\% \cos\varphi_n \quad (8.60)$$

$$U_{nX}\% = \frac{I_{ldm} z_n \sin\varphi_n}{U_{ldm}} 100\% = U_n\% \sin\varphi_n \quad (8.61)$$

Trị số  $\Delta U_2$  có thể cực đại, dương, âm, hoặc bằng không phụ thuộc vào tính chất của tải. Theo công thức (8.59a) ta có :

$$\varphi_n - \varphi_t = 0, \quad \Delta U_2 \text{ lớn nhất}$$

$$\varphi_n - \varphi_t = 90^\circ, \quad \Delta U_2 = 0$$

$$|\varphi_n - \varphi_t| > 90^\circ, \quad \Delta U_2 < 0$$

$$|\varphi_n - \varphi_t| < 90^\circ, \quad \Delta U_2 > 0$$

Trên hình 8.14a vẽ  $\Delta U_2\%$  ứng với các tải thuần R, thuần L và thuần C.

b) Đường đặc tính ngoài

Đường đặc tính ngoài của máy biến áp biểu diễn quan hệ  $U_2 = f(I_2)$ , khi  $U_1 = U_{ldm}$  và  $\cos\varphi_t = \text{const}$  (hình 8.14b).

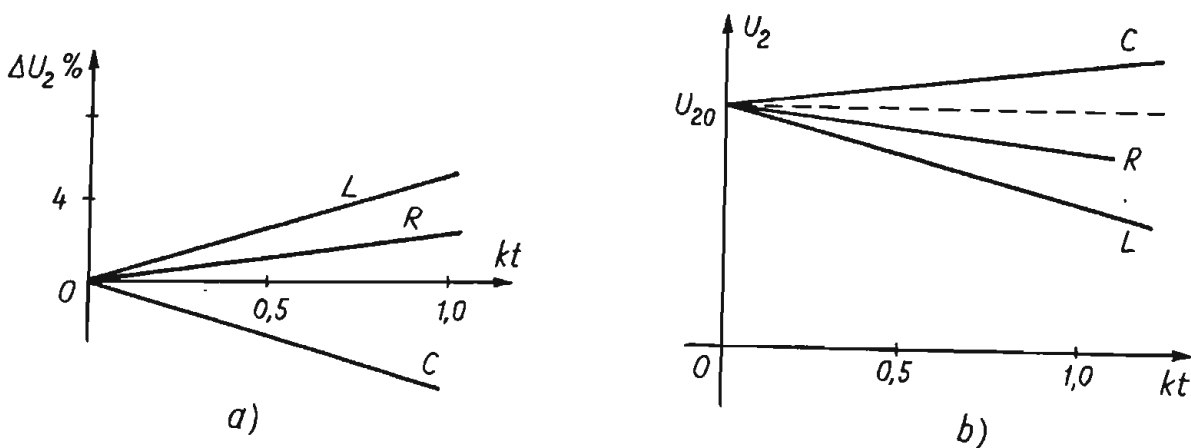
Điện áp thứ cấp  $U_2$  là :

$$U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = U_{2dm} \left( 1 - \frac{\Delta U_2\%}{100} \right) \quad (8.62)$$

Dựa vào công thức (8.62) ta vẽ đường đặc tính ngoài.

Từ đồ thị ta thấy, khi tải dung,  $I_2$  tăng thì  $U_2$  tăng. Khi tải cảm hoặc trở,  $I_2$  tăng thì  $U_2$  giảm (tải cảm điện áp  $U_2$  giảm nhiều hơn).

Điện áp là một thông số có ý nghĩa rất quan trọng, trong vận hành không được biến thiên quá phạm vi cho phép.



Hình 8.14

Để điều chỉnh  $U_2$  đạt được giá trị mong muốn, ta thay đổi số vòng dây trong khoảng  $\pm 5\%$  (thường thay đổi số vòng dây cuộn cao áp ở đó dòng điện nhỏ việc thay đổi số vòng dây thực hiện dễ hơn). Vì thế các dây quấn máy biến áp có chế tạo các đầu phân áp

### 8.8.2. Tổn hao và hiệu suất máy biến áp

Khi máy biến áp làm việc có các tổn hao sau .

- Tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp và thứ cấp gọi là tổn hao đồng  $\Delta P_d$ .

Tổn hao đồng phụ thuộc vào dòng điện tải:

$$\begin{aligned}\Delta P_d &= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_1^2 (R_1 + R'_2) = \\ &= I_1^2 R_n = k_t^2 I_{2dm}^2 R_n\end{aligned}\quad (8.63)$$

$$\Delta P_d = k_t^2 P_n \quad (8.64)$$

trong đó  $P_n$  là công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch.

- Tổn hao sắt từ  $\Delta P_{st}$  trong lõi thép, do dòng điện xoáy và từ trễ gây ra. Tổn hao sắt từ không phụ thuộc tải mà phụ thuộc vào từ thông chính, nghĩa là phụ thuộc vào điện áp. Tổn hao sắt từ bằng công suất đo được khi thí nghiệm không tải.

$$\Delta P_{st} = P_o \quad (8.65)$$

Hiệu suất máy biến áp là

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{st} + \Delta P_d} = \frac{k_t S_{dm} \cos \varphi_1}{k_t S_{dm} \cos \varphi_1 + P_o + k_t^2 P_n} \quad (8.66)$$

trong đó  $P_2$  là công suất tác dụng ở đầu ra (tải tiêu thụ)

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_1 = k_t S_{dm} \cos \varphi_1$$

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} = \frac{S_2}{S_{dm}}$$

Nếu  $\cos \varphi_1$  không đổi, hiệu suất cực đại khi

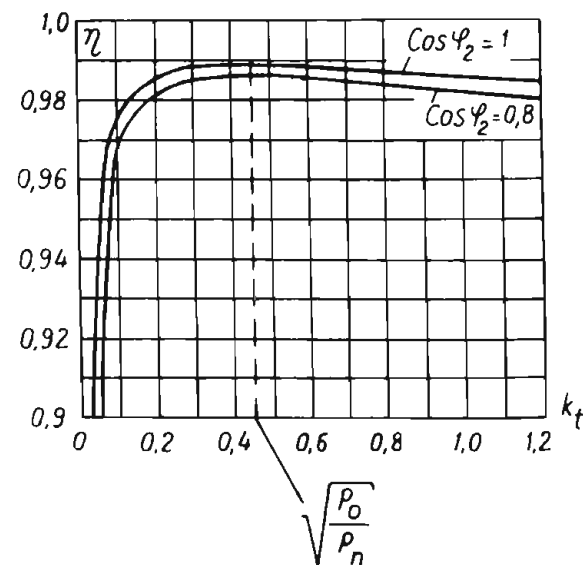
$$\frac{\partial \eta}{\partial k_t} = 0$$

Sau khi tính, ta có hiệu suất cực đại khi tổn hao đồng bằng tổn hao sắt từ  $k_t^2 P_n = P_o$

Hệ số tải ứng với hiệu suất cực đại là :

$$k_t = \sqrt{\frac{P_o}{P_n}} \quad (8.67)$$

Đối với máy biến áp công suất trung bình và lớn, hiệu suất cực đại khi hệ số tải  $k_t = 0,5 \div 0,7$

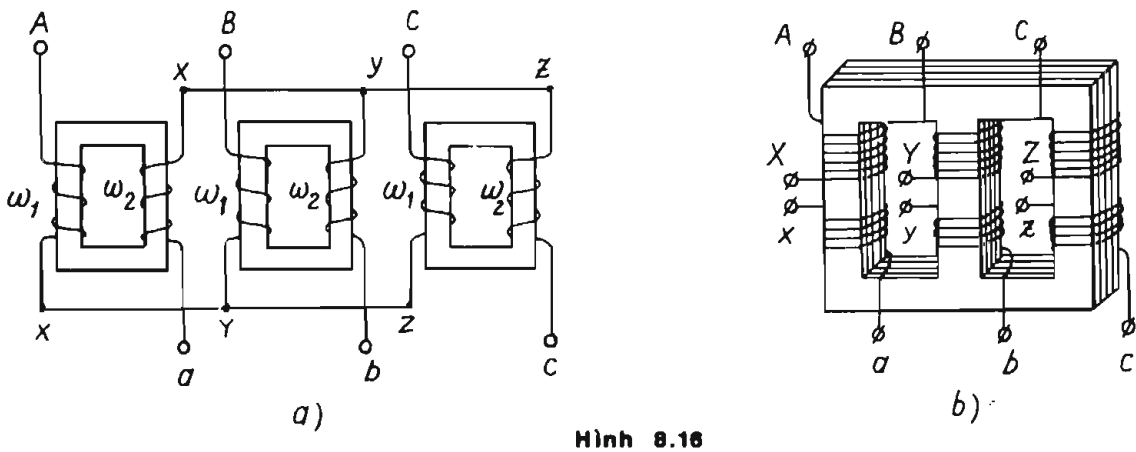


Hình 8.15.

Đường đặc tính hiệu suất vẽ trên hình 8.15. Có nhận xét rằng trong phạm vi  $0,4 < k_t < 1,2$  hiệu suất thay đổi không đáng kể.

### § 8.9. MÁY BIẾN ÁP BA PHA

Để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện ba pha, ta có thể dùng 3 máy biến áp một pha (hình 8.16a), hoặc dùng máy biến áp ba pha (hình 8.16b). Về cấu tạo, lõi thép của máy biến áp ba pha gồm 3 trụ như hình 8.17. Dây quấn sơ cấp ký hiệu bằng các chữ in hoa : Pha A ký hiệu là AX, pha B là BY, pha C là CZ. Dây quấn thứ cấp ký hiệu bằng cách chữ thường : pha a là ax, pha b là by, pha c là cz. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể nối hình sao hoặc hình tam giác. Nếu sơ cấp nối hình tam giác, thứ cấp nối hình sao ta ký hiệu là  $\Delta/Y$ . Nếu sơ cấp nối hình sao, thứ cấp nối hình sao có dây trung tính ta ký hiệu là  $Y/Y_N$ .



Hình 8.16

Gọi số vòng dây pha một pha sơ cấp là  $w_1$ , số vòng dây một pha thứ cấp là  $w_2$  tỷ số điện áp pha giữa sơ cấp và thứ cấp sẽ là :

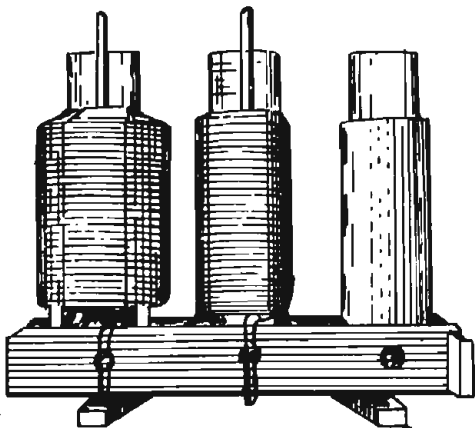
$$\frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2} \tag{8.68}$$

Tỷ số điện áp dây không những chỉ phụ thuộc vào tỷ số vòng dây mà còn phụ thuộc vào cách nối hình sao hay tam giác.

Khi nối  $\Delta/Y$  (hình 8.18a), sơ cấp nối tam giác  $U_{d1} = U_{p1}$  còn thứ cấp nối hình sao  $U_{d2} = \sqrt{3} U_{p2}$ . Vậy tỷ số điện áp dây là :

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{\sqrt{3} U_{p2}} = \frac{w_1}{\sqrt{3} w_2} \tag{8.69}$$

Khi nối  $\Delta/\Delta$  (hình 8.18b), sơ cấp  $U_{d1} = U_{p1}$  và thứ cấp  $U_{d2} = U_{p2}$  cho nên :

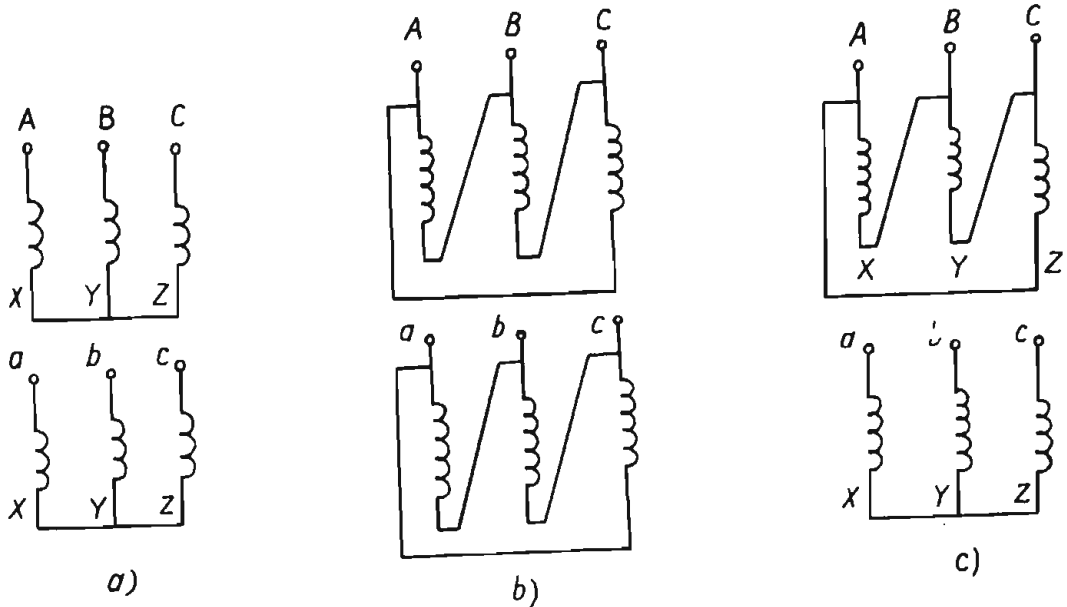


Hình 8.17

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2} \quad (8.70)$$

Khi nối Y/Y (hình 8.18c)

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2}$$



Hình 8.18

Khi nối Y/Δ (hình 8.19a), sơ cấp  $U_{d1} = \sqrt{3}U_{p1}$  và thứ cấp  $U_{d2} = U_{p2}$  cho nên :

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{U_{p2}} = \sqrt{3} \frac{w_1}{w_2} \quad (8.71)$$

Ở trên ta mới chú ý tới tỷ số điện áp dây, trong thực tế khi có nhiều máy biến áp làm việc song song với nhau, ta phải chú ý đến góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp. Vì thế khi ký hiệu tổ đấu dây của máy biến áp, ngoài ký hiệu cách đấu các dây quấn (hình sao hoặc hình tam giác), còn ghi thêm chữ số chỉ góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp. Ví dụ Y/Y - 12 (hình 8.18a) góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp là  $12 \times 30^\circ = 360^\circ$  Y/Δ - 11 (hình 8.19b) thì góc lệch pha là  $11 \times 30^\circ = 330^\circ$ .

Khi vẽ đồ thị vectơ để xác định góc lệch pha, cần chú ý pha của điện áp pha các dây quấn trên cùng một trụ. Phụ thuộc vào chiều quấn dây, và ký hiệu đầu dây, chúng có thể trùng pha nhau (hình 6.20a) hoặc ngược pha nhau (hình 8.20b). Căn cứ vào cách đấu dây (sao hoặc tam giác), vẽ điện áp dây sơ cấp  $\vec{U}_{AB}$  và thứ cấp  $\vec{U}_{ab}$ . Từ đó xác định góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp  $\vec{U}_{AB}$  và thứ cấp  $\vec{U}_{ab}$ .

Trên hình 8.19 góc lệch pha là  $330^\circ$ , tổ đấu dây là  $\frac{330^\circ}{30^\circ} = 11$ , vậy máy (hình 8.19) ký hiệu là Y/Δ - 11.

Đối với máy biến áp ba pha đối xứng khi nghiên cứu chỉ cần viết phương trình

sơ đồ thay thế, đồ thị véctor cho một pha ở trên. Vì thế khi tính các thông số trong sơ đồ thay thế, cần tính thông số pha (dòng điện pha, điện áp pha, tổng trở pha, công suất một pha v.v...).

*Vi dụ :* Tính điện trở  $R_n$  trong sơ đồ thay thế :

$$R_n = R_l + R'_2 = \frac{P_{np}}{I_{lp}^2}$$

trong đó :  $P_{np}$  là tổn hao ngắn mạch một pha.  $P_n$  là tổn hao ngắn mạch ba pha.

$$P_{np} = \frac{P_n}{3}$$

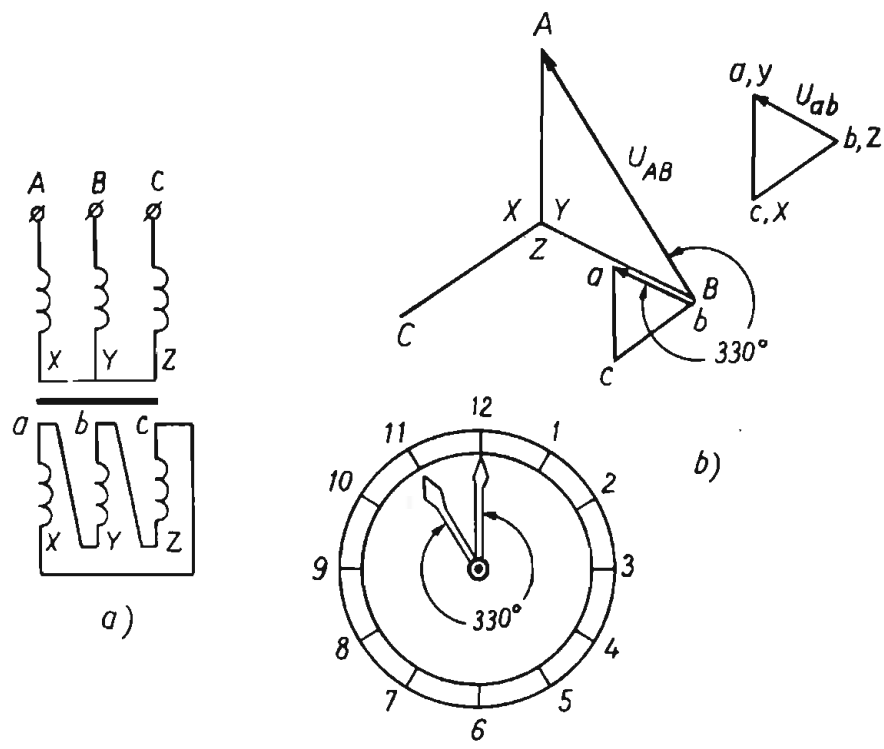
$$I_{lp} = I_{ldm} \text{ (nếu nối Y)}$$

$$\text{hoặc } I_{lp} = \frac{I_{ldm}}{\sqrt{3}} \text{ (nếu nối tam giác).}$$

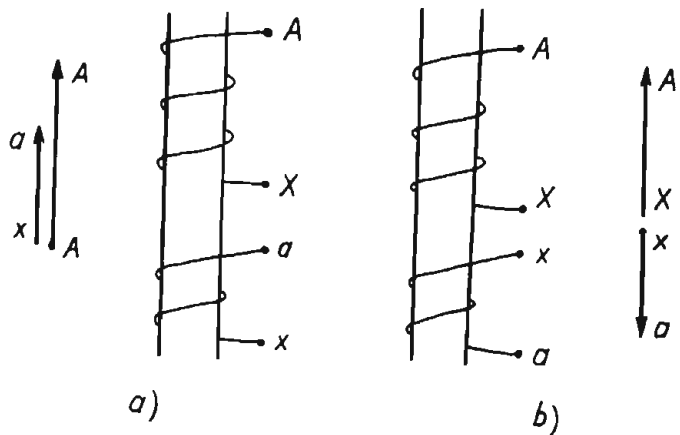
### § 8.10. SỰ LÀM VIỆC SONG SONG CỦA CÁC MÁY BIẾN ÁP

Trong hệ thống điện, trong các lưới điện, các máy biến áp thường làm việc song song với nhau. Nhờ làm việc song song, công suất lưới điện lớn rất nhiều so với công suất mỗi máy, cho phép nâng cao hiệu quả kinh tế của hệ thống và an toàn cung cấp điện, khi một máy hỏng hóc hoặc phải sửa chữa.

Điều kiện để cho các máy làm việc song song là : điện áp định mức sơ cấp, thứ cấp phải bằng nhau, cùng tổ nối dây và điện áp ngắn mạch phải bằng nhau.



Hình 8.19



Hình 8.20

### 8.10.1. Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp của các máy phải bằng nhau tương ứng

$$U_{I1} = U_{III}$$

$$U_{21} = U_{2'1}$$

nghĩa là tỷ số biến áp của các máy phải bằng nhau :

$$k_I = k_{II}$$

trong đó  $k_I$  là hệ số biến áp máy I.

$k_{II}$  là hệ số biến áp máy II.

Trong thực tế, cho phép hệ số biến áp  $k$  của các máy khác nhau không quá 0,5%.

### 8.10.2. Các máy phải có cùng tổ nối dây

Ví dụ không cho phép hai máy có tổ nối dây Y/ $\Delta$ -11 và Y/Y-12 làm việc song song với nhau vì điện áp thứ cấp của 2 máy này không trùng pha nhau.

Điều kiện 1 và 2 đảm bảo cho không có dòng điện cân bằng lớn chạy quanh trong các máy do sự chênh lệch điện áp thứ cấp của chúng.

### 8.10.3. Điện áp ngắn mạch của các máy phải bằng nhau

$$U_{nI}\% = U_{nII}\% = \dots$$

trong đó  $U_{nI}\%$  điện áp ngắn mạch phần trăm của máy I.

$U_{nII}\%$  điện áp ngắn mạch phần trăm của máy II.

Cần đảm bảo điều kiện này, để tải phân bố trên các máy tỷ lệ với công suất định mức của chúng.

Nếu không đảm bảo điều kiện thứ 3, ví dụ  $U_{nI}\% < U_{nII}\%$  thì khi máy I nhận tải định mức, máy II còn non tải. Thật vậy, ở trường hợp này, dòng điện máy I đạt định mức  $I_{ldm}$ , điện áp rơi trong máy I là  $I_{ldm}z_{nI}$ , dòng điện máy II là  $I_{II}$ , điện áp rơi trong máy II là  $I_{II}z_{nII}$ . Vì hai máy làm việc song song, điện áp rơi trong hai máy phải bằng nhau, ta có :

$$I_{ldm}z_{nI} = I_{II}z_{nII} \quad (8.72)$$

$z_{nI}$ ,  $z_{nII}$  là tổng trở ngắn mạch máy I, II. Vì rằng  $U_{nI}\% < U_{nII}\%$  do đó :

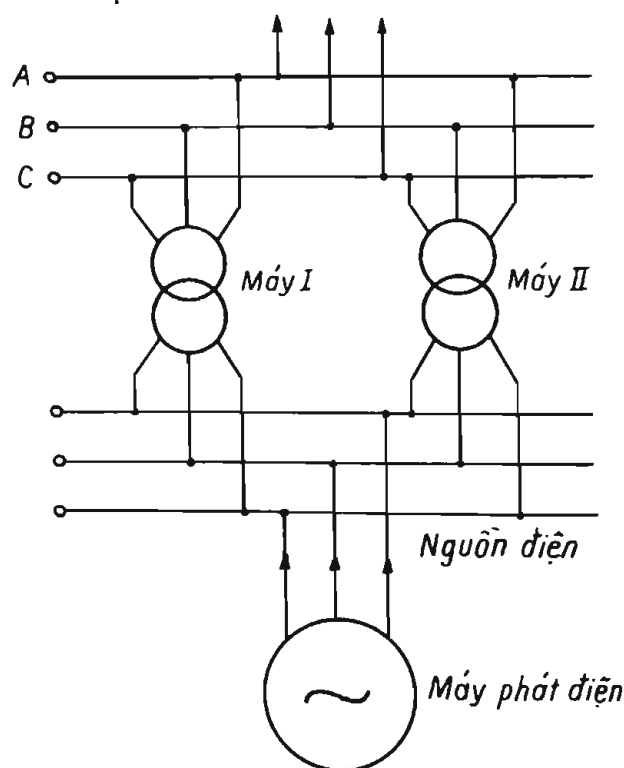
$$I_{ldm}z_{nI} < I_{II}z_{nII} \quad (8.73)$$

So sánh (8.72) với (8.73) ta có :

$$I_{II}z_{nII} < I_{ldm}z_{nII}$$

hoặc là :

$$I_{II} < I_{ldm}$$



Hình 8.21

Dòng điện máy II nhỏ hơn định mức, vậy máy II đang non tải, trong khi máy I đã định mức. Nếu máy II tải định mức, thì máy I sẽ quá tải.

Trong thực tế, cho phép điện áp ngắn mạch của các máy sai khác nhau 10%.

Hình 8.21 vẽ 2 máy biến áp ba pha làm việc song song.

## § 8.11. CÁC MÁY BIẾN ÁP ĐẶC BIỆT

### 8.11.1. Máy tự biến áp

Máy tự biến áp còn được gọi là biến áp tự ngẫu. Máy tự biến áp một pha thường có công suất nhỏ, được dùng trong các phòng thí nghiệm và trong các thiết bị để làm cho nguồn có khả năng điều chỉnh được điện áp đầu ra theo yêu cầu. Máy tự biến áp ba pha thường dùng để điều chỉnh điện áp khi mở máy các động cơ xoay chiều ba pha.

Máy tự biến áp một pha gồm có một dây quấn dùng làm dây quấn sơ cấp, với số vòng dây  $w_1$  và đồng thời một bộ phận của nó với số vòng dây  $w_2$  là thứ cấp (hình 8.22) :

Vậy tỷ số điện áp là :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

hay là 
$$U_2 = U_1 \frac{w_2}{w_1} \quad \left( U_1 \cdot \frac{w_2}{w_1} \right).$$

Ta thay đổi vị trí tiếp điểm trượt a, sẽ thay đổi được số vòng dây  $w_2$  và do đó thay đổi được điện áp  $U_2$ . Vì thế máy tự biến áp dùng để điều chỉnh điện áp một cách liên tục.

Từ sơ đồ cho thấy, sự truyền tải năng lượng từ sơ cấp qua thứ cấp trong máy tự biến áp bằng hai đường : điện và điện từ. Trong khi đó ở các máy biến áp thông thường có dây quấn sơ cấp và thứ cấp riêng biệt, năng lượng từ sơ cấp qua thứ cấp chỉ bằng điện từ. Vì thế máy tự biến áp có tiết diện lõi thép bé hơn máy biến áp thông thường. Máy tự biến áp chỉ có một cuộn dây cho nên tiết kiệm được dây dẫn và giảm được tổn hao.

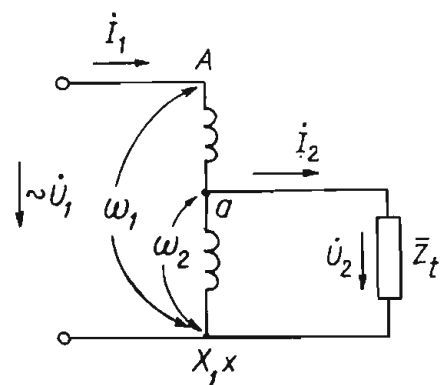
Máy tự biến áp có nhược điểm là mức độ an toàn điện không cao, vì sơ cấp và thứ cấp liên hệ trực tiếp về điện với nhau.

### 8.11.2. Máy biến áp đo lường

Các máy biến áp đo lường dùng để mở rộng thang đo các dụng cụ đo lường.

#### a) Máy biến điện áp

Dùng biến đổi điện áp cao xuống điện áp thấp để đo lường bằng các dụng cụ thông thường. Như thế số vòng dây thứ cấp  $w_2$  phải nhỏ hơn số vòng dây sơ cấp  $w_1$ . Thông thường người ta qui định điện áp thứ cấp  $U_2$  định mức là 100 V (hình 8.23).



Hình 8.22

Khi mắc dây, cuộn dây sơ cấp nối song song với điện áp lớn cần đo, cuộn thứ cấp nối với vôn kế hoặc các mạch điện áp của các dụng cụ khác như cuộn dây điện áp của oát kế v.v...

Trong khi làm việc, không được để cho máy biến điện áp bị ngắn mạch thứ cấp.

#### b) Máy biến dòng điện.

Dùng biến đổi dòng điện lớn xuống dòng điện nhỏ để đo lường và một số mục đích khác. Vì dòng điện thứ cấp nhỏ hơn dòng điện sơ cấp, nên số vòng dây thứ cấp  $w_2$  nhiều hơn số vòng dây sơ cấp. Dòng điện thứ cấp định mức là  $I_2 = 5A$  (hình 8.24).

Khi mắc dây, cuộn dây sơ cấp đấu nối tiếp với dòng điện lớn cần đo ; cuộn thứ cấp nối với ampe kế hoặc mạch dòng điện của các dụng cụ khác như cuộn dòng điện của oát kế v.v...

Đối với máy biến dòng không được để hở mạch thứ cấp.

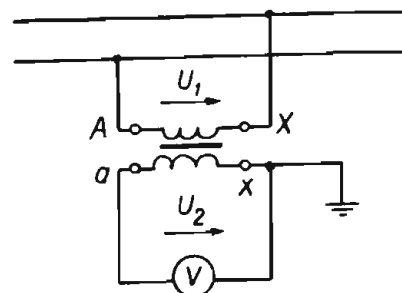
### 8.11.3. Máy biến áp hàn hồ quang

Là loại máy biến áp đặc biệt dùng để hàn bằng phương pháp hồ quang điện. Người ta chế tạo máy biến áp hàn có điện kháng tản lớn, và thêm cuộn điện kháng ngoài để cho dòng điện hàn không vượt quá 2 đến 3 lần dòng điện định mức. Vì thế đường đặc tính ngoài của máy rất dốc, phù hợp với yêu cầu hàn điện. Sơ đồ nguyên lý của máy biến áp hàn vẽ trên hình 8.25.

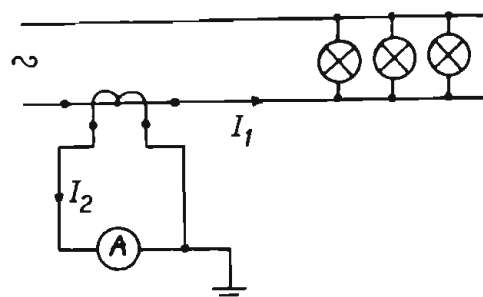
Cuộn dây sơ cấp nối với nguồn điện, còn cuộn thứ cấp một đầu nối với cuộn điện kháng và que hàn, còn đầu kia nối với kim loại hàn.

Khi dí que hàn vào tấm kim loại, sẽ có dòng điện lớn chạy qua, làm nóng chỗ tiếp xúc. Khi nhấc que hàn cách tấm kim loại một khoảng nhỏ, vì cường độ điện trường lớn làm iôn hóa chất khí, sinh hồ quang và tỏa ra nhiệt lượng lớn làm nóng chảy chỗ hàn. Muốn điều chỉnh dòng điện hàn, có thể thay đổi số vòng

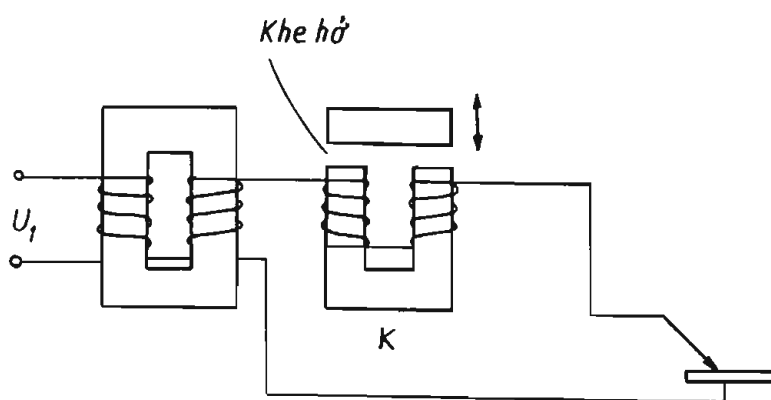
dây quấn thứ cấp của máy biến áp hoặc thay đổi điện kháng cuộn K, bằng cách thay đổi khe hở không khí của lõi thép. Chế độ làm việc của máy biến áp hàn là ngắn mạch ngắn hạn thứ cấp. Điện áp thứ cấp định mức máy biến áp hàn thường  $60 \div 70 V$ .



Hình 8.23



Hình 8.24



Hình 8.25



**Bảng tóm tắt chương 8**

Dại lượng	Biểu thức
Công suất định mức máy biến áp một pha $S_{dm}$	$S_{dm} = U_{1dm} I_{1dm} = U_{2dm} I_{2dm}$
Công suất định mức máy biến áp 3 pha $S_{dm}$	$S_{dm} = \sqrt{3} U_{1dm} I_{1dm} = \sqrt{3} U_{2dm} I_{2dm}$
Sức điện động dây quấn sơ cấp $E_1$	$E_1 = 4,44 f w_1 \Phi_{max}$
Sức điện động dây quấn thứ cấp $E_2$	$E_2 = 4,44 f w_2 \Phi_{max}$
Hệ số biến áp $k$	$k = \frac{w_1}{w_2}$
Phương trình điện áp sơ cấp	$\dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1$
Phương trình điện áp thứ cấp	$\dot{U}_2 = -R_2 \dot{I}_2 - jX_2 \dot{I}_2 - \dot{E}_2$
Phương trình sức từ động	$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2$
Sơ đồ thay thế	
a) chính xác b) gần đúng	
Thông số nhánh từ hóa	$R_{th} \approx R_0 = \frac{P_{op}}{I_0^2}; z_{th} = z_0 = \frac{U_{op}}{I_0}$ $X_{th} \approx X_0 = \sqrt{z_0^2 - R_0^2}$
Qui đổi đại lượng thứ cấp về sơ cấp	$I'_2 = \frac{I_2}{k}; U'_2 = kU_2; E'_2 = kE_2;$ $R'_2 = k^2 R_2$ $X'_2 = k^2 X_2; R'_1 = k^2 R_1; X'_1 = k^2 X_1$
Điện trở ngắn mạch $R_n$	$R_n = R_1 + R'_2 \approx 2R_1 = \frac{P_{np}}{I_{1pdm}^2}$
Điện kháng ngắn mạch $X_n$	$X_n = X_1 + X'_2 \approx 2X_1 = \sqrt{z_n^2 - R_n^2}$
Tổng trở ngắn mạch $z_n$	$z_n = \frac{U_n \% U_{1pdm}}{I_{1pdm}} = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$
Độ biến thiên điện áp thứ cấp $\Delta U_2$	$\Delta U_2 = k_t (U_{nR} \% \cos \varphi_t + U_{nX} \% \sin \varphi_t)$
Tổn hao đồng $\Delta P_d$	$\Delta P_d = k_t^2 P_n$
Tổn hao sắt từ $\Delta P_{st}$	$\Delta P_{st} = P_o = p_{1,0/50} B^2 \left( \frac{f}{50} \right)^{1,3} G$
Hiệu suất $\eta$	$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{k_t S_{dm} \cos \varphi_t}{k_t S_{dm} \cos \varphi_t + P_o + k_t^2 P_n}$
Hệ số tải $k_t$	$k_t = \frac{I_2}{I_{2dm}} = \frac{I_1}{I_{1dm}}$

## CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 8

1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy biến áp
2. Mô hình toán của máy biến áp
3. Qui đổi và sơ đồ thay thế máy biến áp
4. Thí nghiệm không tải và thí nghiệm ngắn mạch
5. Cách xác định thông số máy biến áp bằng số liệu thí nghiệm
6. Độ biến thiên điện áp thứ cấp và đường đặc tính ngoài của máy biến áp
7. Tổn hao và hiệu suất của máy biến áp.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 8

### Bài số 8.1.

Một cuộn dây lõi thép có mạch từ làm bằng thép lá kỹ thuật điện. Tiết diện lõi thép  $S = 24 \text{ cm}^2$ , hệ số điện kín 0,93. Từ cảm trong lõi  $B_m = 1,2 \text{ T}$ . Điện áp đặt vào cuộn dây  $u = 220\sqrt{2} \sin \omega t$ , tần số  $f = 50 \text{ Hz}$ . Hãy xác định từ thông  $\Phi_{\max}$ , sức điện động  $\dot{E}$ ,  $E$  và  $e$ . Xác định điện áp đặt lên một vòng dây.

*Bài giải*

Tiết diện tác dụng (hữu ích) lõi thép

$$S_l = 0,93 S = 0,93 \cdot 24 = 22,32 \text{ cm}^2.$$

Từ thông cực đại trong lõi

$$\Phi_{\max} = B_m \cdot S_l = 1,2 \cdot 22,32 \cdot 10^{-4} = 26,784 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

Giả thiết bỏ qua điện áp rơi trên điện trở dây quấn và điện kháng tán, coi  $E \approx U = 220 \text{ V}$  ta có

$$w = \frac{E}{4,44f \cdot \Phi_{\max}} = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 26,784 \cdot 10^{-4}} = 370 \text{ vòng},$$

Sức điện động hiệu dụng phức

$$\dot{E} = 220e^{-j\pi} \text{ V}$$

Trị số tức thời sức điện động

$$e = 220\sqrt{2} \sin(\omega t - \pi), \text{ V}$$

Điện áp đặt lên một vòng dây là  $\frac{220}{370} = 0,6 \text{ V/vòng}$ .

### Bài số 8.2.

Một cuộn dây lõi thép dây quấn có  $w = 296$  vòng có điện trở bản thân  $R = 0,5 \Omega$ . Lõi thép có chiều dài trung bình  $l_{tb} = 0,4 \text{ m}$  và tiết diện  $S = 32,26 \text{ cm}^2$ . Lõi được chế tạo bằng lá thép kỹ thuật điện 3414 dày 0,35 mm (phụ lục 1). Hệ số điện kín lõi thép 0,93, suất tổn hao riêng  $p_{1,0/50} = 0,6 \text{ W/kg}$ , trọng lượng riêng  $7650 \text{ kg/m}^3$ . Tổng khe hở không khí toàn mạch từ  $l_k = 0,2 \text{ mm}$

Cuộn dây được đặt vào nguồn  $U = 220 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ . Tính :

a) Tổn hao sắt từ trong lõi thép ;

- b) Dòng điện trong cuộn dây ;
- c) Công suất tác dụng và phản kháng cuộn dây tiêu thụ ;
- d) Hệ số công suất cuộn dây ;
- đ) Công suất và dòng điện thay đổi thế nào nếu tần số  $f = 60 \text{ Hz}$ .

*Bài giải*

a) Nếu bỏ qua điện áp rơi trên điện trở  $R$  và điện kháng tản, coi gần đúng  $U \approx E = 4,44fw\Phi_{\max} = 220 \text{ V}$

$$\text{Từ thông cực đại } \Phi_{\max} = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 296} = 0,335 \cdot 10^{-2} \text{ Wb (1)}$$

Tiết diện hữu ích lõi thép

$$S_l = 0,93 \text{ S} = 0,93 \cdot 32,26 = 30 \text{ cm}^2$$

Từ cảm cực đại trong lõi thép

$$B_{lm} = \frac{\Phi_{\max}}{S_l} = \frac{0,355 \cdot 10^{-2}}{30 \cdot 10^{-4}} = 1,11 \text{ T} \quad (2)$$

Thể tích lõi thép

$$V_l = S_l \cdot l_{lh} = 30 \cdot 10^{-4} \cdot 0,4 = 12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Trọng lượng lõi thép

$$G_l = 7650 \cdot 12 \cdot 10^{-4} = 9,18 \text{ kg}$$

Tổn hao sắt từ trong lõi thép

$$\Delta P_{st} = P_{1,0/50} B_{lm}^2 \left( \frac{f}{50} \right)^{1,3} G_l = 0,6 \cdot 1,11^2 \left( \frac{50}{50} \right)^{1,3} \cdot 9,18 = 6,8 \text{ W}$$

b) Dòng điện  $I$  trong cuộn dây có thể phân thành 2 thành phần : thành phần tác dụng  $I_{ld}$  trùng pha với điện áp  $U$  và thành phần phản kháng  $I_{pk}$  (còn gọi là thành phần từ hóa) chậm pha so với điện áp góc  $\pi/2$  (h.6-1) Bỏ qua tổn hao công suất trên điện trở  $R$  (nhỏ so với tổn hao sắt từ  $P_{st}$ ) ta có  $P \approx \Delta P_{st}$

$$I_{ld} = \frac{P}{U} = \frac{\Delta P_{st}}{U} = \frac{6,8}{220} = 0,031 \text{ A}$$

Giải mạch từ để tính dòng điện từ hóa  $I_{pk}$ . Từ  $B_{lm} = 1,11 \text{ T}$  tra đường từ hóa thép 3413 (phụ lục 1) được cường độ từ trường  $H_{lm} = 219 \text{ A/m}$ .

Từ cảm cực đại trong khe hở không khí

$$B_{km} = \frac{\Phi_{\max}}{S} = \frac{3,55 \cdot 10^{-2}}{32,26 \cdot 10^{-4}} = 1,038 \text{ T}$$

Cường độ từ trường trong khe hở không khí :

$$H_{km} = \frac{B_{km}}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 8,26 \cdot 10^5 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Áp dụng định luật dòng điện toàn phần

$$H_{lm} l_{lh} + H_{km} l_k = I_{pkm} w$$

Từ đó rút ra

$$I_{pkm} = \frac{H_{tm} l_{tb} + H_{km} l_k}{w} = \frac{219 \cdot 0,4 + 8,26 \cdot 10^5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-2}}{296}$$

$$I_{pkm} = 0,85 \text{ A} ; \quad I_{pk} = \frac{I_{pkm}}{\sqrt{2}} = 0,6 \text{ A}.$$

Dòng điện  $I$  trong cuộn dây

$$I = \sqrt{I_{td}^2 + I_{pk}^2} = \sqrt{0,031^2 + 0,6^2} \approx 0,6 \text{ A}$$

So sánh  $I$  và  $I_{pk}$  có nhận xét rằng có thể coi gần đúng dòng điện trong cuộn dây lõi thép là dòng điện từ hóa.

Công suất cuộn dây tiêu thụ

$P = \Delta P_d + \Delta P_{st} = 0,5 \cdot 0,6^2 + 6,8 = 6,98 \text{ W}$ ,  
trong đó  $\Delta P_d = RI^2 = 0,5 \cdot 0,6^2 = 0,18 \text{ W}$  là tổn hao trên điện trở cuộn dây.  
Công suất phản kháng cuộn dây tiêu thụ :

$$Q = UI \sin \varphi = UI_{pk} = 220 \cdot 0,6 = 132 \text{ VAr}.$$

d) Hệ số công suất cuộn dây

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} = \frac{6,98}{220 \cdot 0,6} = 0,053.$$

Hệ số công suất cuộn dây lõi thép rất thấp.

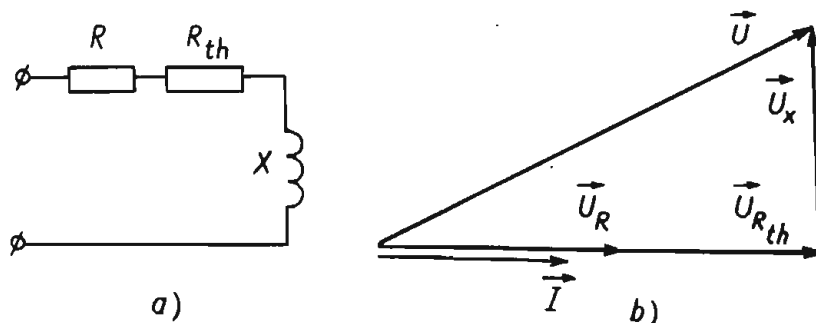
d) Từ (1) và (2) rút ra khi  $f = 60 \text{ Hz}$  thì  $\Phi_{\max}$  giảm  $B_{tm}$  giảm,  $\Delta P_{st}$  giảm do đó  $I_{td}$ ,  $I_{pk}$  giảm nghĩa là công suất và dòng điện giảm so với lúc  $f = 50 \text{ Hz}$ .

### Bài số 8.3.

Hãy xác định các thông số trong sơ đồ thay thế cuộn dây ở bài 8.2. Vẽ sơ đồ thay thế và đồ thị vectơ.

*Bài giải*

Đối với dòng điện một chiều (dòng điện không đổi) ở chế độ xác lập, cuộn dây có sơ đồ thay thế là điện trở  $R$ , đặc trưng cho tổn hao đồng trong cuộn dây. Khi đặt vào điện áp xoay chiều, ngoài tổn hao đồng còn có tổn hao sắt từ trong lõi thép và công suất phản kháng tạo từ trường cho cuộn dây.



Hình 8.26

$$\text{Tổng trở cuộn dây } z = \frac{U}{I} = \frac{220}{0,6} = 366,7 \text{ } \Omega.$$

Điện trở cuộn dây lõi thép đối với dòng điện xoay chiều :

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{\Delta P_d + \Delta P_{st}}{0,6^2} = \frac{0,18}{0,6^2} + \frac{6,8}{0,6^2} = 19,3 \, \Omega,$$

trong đó  $R = \frac{0,18}{0,6^2} = 0,5 \, \Omega$  là điện trở bản thân dây quấn, đặc trưng cho tổn hao

đồng trong dây quấn ;  $R_{th} = \frac{6,8}{0,6^2} = 18,89 \, \Omega$  là điện trở đặc trưng cho tổn hao

sắt từ trong lõi thép.

Điện kháng X của cuộn dây lõi thép

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{366,7^2 - 19,39^2} = 366,2 \, \Omega,$$

X còn được gọi là điện kháng từ hóa  $X_{th}$ .

Mạch điện thay thế và đồ thị vectơ cuộn dây lõi thép vẽ trên hình 8.26a,b.

#### Bài số 8.4.

Máy biến áp một pha mạch từ lõi thép có kích thước và vật liệu như trong bài 8.3. Cuộn cao áp có  $w_{ca} = 296$  vòng, điện áp định mức cuộn cao áp  $U_{ca} = 220 \, V$ , điện áp định mức cuộn hạ áp  $U_{ha} = 110 \, V$ .

a) Tính số vòng dây cuộn hạ áp ;

b) Tính dòng điện không tải khi đặt điện áp định mức vào cuộn cao áp, cuộn hạ áp hở mạch ;

c) Tính dòng điện không tải khi đặt điện áp định mức vào phía hạ áp, cuộn cao áp hở mạch ;

d) Tính công suất biểu kiến lúc không tải trong 2 trường hợp trên.

*Bài giải*

a) Số vòng dây cuộn hạ áp

$$w_{ha} = w_{ca} \frac{U_{ha}}{U_{ca}} = 296 \cdot \frac{110}{220} = 148 \text{ vòng.}$$

b) Khi đặt điện áp định mức vào cuộn cao áp, cuộn hạ áp hở mạch, tình trạng điện từ của máy biến áp giống như đã giải ở cuộn dây lõi thép bài 8.3. Ta có thể lấy các kết quả đó. Như đã tính ở bài 8.3, từ thông  $\Phi_{max} = \frac{220}{4,44 \cdot 50 \cdot 296} = 0,335 \cdot 10^{-2} \, Wb$  và dòng điện không tải của máy là  $I_{oca} = 0,6 \, A$ .

c) Khi đóng điện áp định mức vào phía hạ áp, dây quấn phía cao áp hở mạch. Từ thông trong lõi thép sẽ là

$$\Phi_{max} = \frac{110}{4,44 \cdot 50 \cdot 148} = 0,355 \cdot 10^{-2} \, Wb.$$

Từ thông trong cả hai trường hợp b, c bằng nhau, tổn hao sắt từ sẽ không đổi và bằng  $\Delta P_{st} = 6,8 \, W$  và sức từ động của hai trường hợp phải bằng nhau, do đó ta có

$$I_{oca} W_{ca} = I_{oha} W_{ha},$$

$$I_{oha} = I_{oca} \frac{W_{ca}}{W_{ha}} = 0,6 \frac{296}{148} = 1,2 \text{ A.}$$

d) Công suất biểu kiến không tải

Trường hợp đóng điện vào dây quấn cao áp

$$S_o = I_{oca} U_{ca} = 0,6 \cdot 220 = 132 \text{ VA.}$$

Trường hợp đóng điện vào phía hạ áp

$$S_o = I_{oha} U_{ha} = 1,2 \cdot 119 = 132 \text{ VA.}$$

Công suất biểu kiến không tải trong hai trường hợp bằng nhau.

#### Bài số 8.5.

Thông số của máy biến áp một pha :  $S_{dm} = 25 \text{ kVA}$  ;  $U_{ldm} = 380 \text{ V}$  ;  
 $U_{2dm} = 127 \text{ V}$ , điện áp ngắn mạch phần trăm  $u_n \% = 4\%$

a) Tính dòng điện định mức

b) Tính dòng điện ngắn mạch khi đặt điện áp định mức và 70% định mức vào cuộn cao áp, cuộn hạ áp ngắn mạch.

c) Tính dòng điện ngắn mạch khi đặt điện áp định mức vào cuộn hạ áp, cuộn cao áp ngắn mạch.

#### Bài giải

a) Dòng điện định mức trong hai dây quấn

$$I_{ldm} = \frac{S_{dm}}{U_{ldm}} = \frac{25 \cdot 10^2}{380} = 65,79 \text{ A}$$

$$I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}} = \frac{25 \cdot 10^3}{127} = 196,85 \text{ A.}$$

b) Khi đặt điện áp định mức 380 V vào cuộn cao áp, cuộn hạ áp ngắn mạch.

Gọi  $U_{ln}$  là điện áp ngắn mạch khi thí nghiệm với dòng điện định mức. Dòng điện ngắn mạch ở cuộn sơ cấp khi đặt điện áp định mức vào cuộn sơ cấp là :

$$I_{ln} = I_{ldm} \frac{U_{ldm}}{U_{ln}} = \frac{I_{ldm}}{\frac{U_{ln}}{U_{ldm}}} = \frac{I_{ldm}}{u_n}$$

trong đó  $u_n = \frac{U_{ln}}{U_{ldm}}$  là điện áp ngắn mạch tương đối.

Dòng điện ngắn mạch trong cuộn thứ cấp

$$I_{2n} = \frac{w_1}{w_2} I_{ln} = \frac{w_1}{w_2} \frac{I_{ldm}}{u_n} = \frac{I_{2dm}}{u_n}$$

Tổng quát ta có

$$I_n = \frac{I_{dm}}{u_n} \quad (1)$$

Thay số vào ta có :

Khi đặt điện áp định mức

$$I_{1n} = \frac{I_{1dm}}{u_n} = \frac{65,79}{0,04} = 1644,75 \text{ A}$$

$$I_{2n} = \frac{I_{2dm}}{u_n} = \frac{196,85}{0,04} = 4927 \text{ A.}$$

Khi đặt điện áp 70% định mức

$$I_{1n} = 1644,75 \cdot \frac{70}{100} = 1151,32 \text{ A}$$

$$I_{2n} = 4927 \cdot \frac{70}{100} = 3448,9 \text{ A.}$$

c) Khi đặt điện áp định mức 127 V vào cuộn hạ áp, cuộn cao áp ngắn mạch.

Áp dụng công thức tổng quát (1) ta được kết quả như trên nghĩa là dòng điện ngắn mạch trong mỗi dây quấn vẫn không đổi dù ngắn mạch ở phía nào.

Từ công thức (1)  $I_n = \frac{I_{dm}}{u_n}$  cho thấy rằng, máy biến áp có  $u_n$  nhỏ, dòng điện ngắn mạch lớn. Với  $u_n = 0,04$  dòng điện ngắn mạch lớn hơn dòng điện định mức 25 lần.

#### Bài số 8.6.

Máy biến áp một pha  $S_{dm} = 2500 \text{ VA}$  ;  $U_{1dm} = 220 \text{ V}$  ;  $U_{2dm} = 127 \text{ V}$ . Thí nghiệm không tải :  $U_{10} = 220 \text{ V}$  ;  $I_{10} = 1,4 \text{ A}$  ;  $P_{10} = 30 \text{ W}$ . Thí nghiệm ngắn mạch :  $I_{1n} = I_{1dm} = 11,35 \text{ A}$  ;  $U_{1n} = 8,8 \text{ V}$  ;  $P_{1n} = 80 \text{ W}$ .

a) Tính các thông số sơ đồ thay thế

b) Khi tải R, L có  $\cos\varphi_l = 0,8$ . Xác định hiệu suất và điện áp thứ cấp khi hệ số tải  $k_l = 1$  ; 0,5.

*Bài giải*

a) Điện trở nhánh từ hóa

$$R_{th} = \frac{P_{10}}{I_{10}^2} = \frac{30}{1,4^2} = 15,3 \text{ } \Omega.$$

Tổng trở nhánh từ hóa

$$z_{th} = \frac{U_{10}}{I_{10}} = \frac{220}{1,4} = 157 \text{ } \Omega$$

Điện kháng nhánh từ hóa

$$X_{th} = \sqrt{z_{th}^2 - R_{th}^2} = \sqrt{157^2 - 15,3^2} = 149 \text{ } \Omega.$$

Điện trở ngắn mạch

$$R_n = R_1 + R'_2 = \frac{P_{In}}{I_{In}^2} = \frac{80}{(11,35)^2} = 0,621 \, \Omega$$

Tổng trở ngắn mạch

$$z_n = \frac{U_{In}}{I_{In}} = \frac{8,8}{11,35} = 0,775 \, \Omega$$

Điện kháng ngắn mạch

$$X_n = \sqrt{z_n^2 - R_n^2} = \sqrt{0,775^2 - 0,621^2} = 0,46 \, \Omega$$

Coi  $R_1 \approx R'_2$  ;  $X_1 \approx X'_2$

$$R_1 = R'_2 = \frac{R_n}{2} = 0,31 \, \Omega$$

$$X_1 = X'_2 = \frac{X_n}{2} = 0,23 \, \Omega$$

$$\text{Hệ số biến áp } k = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_{1dm}}{U_{2dm}} = \frac{220}{127} = 1,73$$

Thông số dây quấn thứ cấp chưa qui đổi

$$R_2 = \frac{R'_2}{k^2} = \frac{0,31}{1,73^2} = 0,1 \, \Omega$$

$$X_2 = \frac{X'_2}{k^2} = \frac{0,23}{1,73^2} = 0,077 \, \Omega$$

b) Hiệu suất máy biến áp khi định mức

$$\eta = \frac{S_{dm} \cos \varphi_1}{S_{dm} \cos \varphi_1 + P_{\text{on}} + P_n} = \frac{2500 \cdot 0,8}{2500 \cdot 0,8 + 30 + 80} = 0,948$$

Khi hệ số tải  $k_l = 0,5$

$$\eta = \frac{k_l S_{dm} \cos \varphi_1}{k_l S_{dm} \cos \varphi_1 + P_{\text{on}} + k_l^2 P_n} = \frac{2500 \cdot 0,8}{0,5 \cdot 2500 \cdot 0,8 + 30 + 0,5^2 \cdot 80} = 0,952$$

$$U_n \% = \frac{8,8}{220} 100\% = 4\%$$

Độ biến thiên điện áp thứ cấp phân trăm

$$\Delta U_2 \% = k_l (U_{nK} \% \cos \varphi_1 + U_{nX} \% \sin \varphi_1)$$

trong đó  $U_{nK} \% = U_n \% \cos \varphi_n = 4\% \cdot 0,8 = 3,2\%$

$$U_{nX} \% = U_n \% \sin \varphi_n = 4\% \cdot 0,6 = 2,4\%$$

$$\cos \varphi_n = \frac{P_{In}}{U_{In} I_{In}} = \frac{80}{8,8 \cdot 11,35} = 0,8$$

$$\sin \varphi_n = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} = 0,6$$



Thay số

Khi  $k_1 = 1$  ;  $\cos\varphi_1 = 0,8$ ,  $\sin\varphi_1 = 0,6$

$$\Delta U_2\% = 1 (3,2\% \cdot 0,8 + 2,4\% \cdot 0,6) = 4\%$$

$$\Delta U_2 = 4\% U_{2dm} = \frac{4}{100} \cdot 127 = 5,1 \text{ V}$$

$$U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = 127 - 5,1 = 121,9 \text{ V}$$

Khi  $k_1 = 0,5$  ;  $\cos\varphi_1 = 0,8$

$$\Delta U_2\% = 0,5 (3,2\% \cdot 0,8 + 2,4\% \cdot 0,6) = 2\%$$

$$\Delta U_2 = 2\% U_{2dm} = \frac{2}{100} \cdot 127 = 2,55 \text{ V}$$

$$U_2 = U_{2dm} - \Delta U_2 = 127 - 2,55 = 124,45 \text{ V}$$

### Bài số 8.7.

Máy biến áp một pha :  $S_{dm} = 2500 \text{ VA}$  ,  $U_{1dm} = 220 \text{ V}$  ;  $U_{2dm} = 127 \text{ V}$  ; thông số các dây quấn  $R_1 = 0,3 \Omega$  ;  $X_1 = 0,25 \Omega$  ,  $R_2 = 0,1 \Omega$  ,  $X_2 = 0,083 \Omega$ .

Thứ cấp nối với tải có tổng trở phức  $\bar{Z}_l = 5,8 + j5,17 \Omega$ .

Dùng sơ đồ thay thế gần đúng (coi  $I_0 \approx 0$ ) xác định công suất tác dụng  $P_1$ , công suất phản kháng  $Q_1$ , hệ số công suất  $\cos\varphi_1$  ở phía sơ cấp, công suất tác dụng và phản kháng của tải, điện áp trên tải và độ biến thiên điện áp thứ cấp.

### Bài giải

Tính các thông số của sơ đồ thay thế gần đúng

$$\text{Hệ số biến áp } k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{220}{127} = 1,73.$$

Qui đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp

$$R'_2 = R_2 k^2 = 0,1 \cdot 1,73^2 = 0,3 \Omega$$

$$X'_2 = X_2 k^2 = 0,083 \cdot 1,73^2 = 0,25 \Omega$$

$$R'_1 = R_1 k^2 = 5,8 \cdot 1,73^2 = 17,4 \Omega$$

$$X'_1 = X_1 k^2 = 5,17 \cdot 1,73^2 = 15,5 \Omega.$$

Từ sơ đồ ta tính được dòng điện sơ cấp và dòng điện thứ cấp đã qui đổi về sơ cấp

$$I_1 \approx I'_2 \approx \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + R'_1)^2 + (X_1 + X'_2 + X'_1)^2}} \approx \frac{220}{\sqrt{18^2 + 16^2}} = 9,13 \text{ A}$$

Hệ số công suất phía sơ cấp  $\cos\varphi_1$

$$\cos\varphi_1 = \frac{(R_1 + R'_2 + R'_1)}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + R'_1)^2 + (X_1 + X'_2 + X'_1)^2}} = \frac{18}{24,08} = 0,747$$

Công suất tác dụng phía sơ cấp  $P_1$

$$P_1 = UI_1 \cos \varphi_1 = 220 \cdot 9,13 \cdot 0,747 = 1500,5 \text{ W}$$

Công suất phản kháng phía sơ cấp  $Q_1$

$$Q_1 = UI_1 \sin \varphi_1 = 220 \cdot 9,13 \cdot \sqrt{1 - (0,747)^2} = 1335,4 \text{ VAr}$$

Dòng điện thứ cấp (chưa qui đổi)

$$I_2 = kI'_2 = 1,73 \cdot 9,13 = 15,8 \text{ A.}$$

Tổng trở tải

$$z_t = \sqrt{R_t^2 + X_t^2} = \sqrt{5,8^2 + 5,17^2} = 7,77 \Omega$$

Điện áp trên tải

$$U_2 = I_2 z_t = 15,8 \cdot 7,77 = 122,76 \text{ V.}$$

Độ biến thiên điện áp thứ cấp

$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{2\text{đm}} - U_2}{U_{2\text{đm}}} 100\% = \frac{127 - 122,76}{126} 100\% = 3,38\%$$

Công suất tác dụng của tải

$$P_t = R_t I_2^2 = 5,8 \cdot 15,8^2 = 1448 \text{ W.}$$

Công suất phản kháng của tải

$$Q_t = X_t I_2^2 = 5,17 \cdot 15,8^2 = 1291 \text{ VAr.}$$

**Bài số 8.8.**

Một máy biến áp ba pha có tỷ số vòng dây pha  $\frac{w_1}{w_2} = 2$ . Xác định tỷ số điện áp dây khi đấu Y/Y ;  $\Delta/\Delta$  ; Y/ $\Delta$  ;  $\Delta/Y$ .

*Bài giải*

Khi nối sao Y/Y

$$k_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3} U_{p1}}{\sqrt{3} U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2} = 2$$

Khi nối hình tam giác - tam giác  $\Delta/\Delta$

$$k_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2} = 2$$

Khi nối Y/ $\Delta$

$$k_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3} U_{p1}}{U_{p2}} = \sqrt{3} \frac{w_1}{w_2} = 2\sqrt{3}$$

Khi nối  $\Delta/Y$

$$k_d = \frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{\sqrt{3} U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{2}{\sqrt{3}}$$

### Bài số 8.9.

Một máy biến áp ba pha nối Y/ $\Delta$  có  $S_{dm} = 60 \text{ kVA}$  ;  $U_{ldm} = 35 \text{ kV}$  ;  $U_{2dm} = 400 \text{ V}$  ;  $I_o \% = 11\%$  ;  $U_n \% = 4,55\%$  ;  $P_o = 502 \text{ W}$  ;  $P_n = 1200 \text{ W}$ .

Tính dòng điện định mức, dòng điện không tải, hệ số công suất không tải, điện áp ngắn mạch  $U_n$ , hệ số công suất ngắn mạch  $\cos\varphi_n$ . Thông số sơ đồ thay thế.

Tính hệ số tải khi hiệu suất cực đại. Máy làm việc với tải R, L có  $\cos\varphi_1 = 0,9$  hệ số tải  $k_1 = 0,5$ . Tính hiệu suất, công suất tác dụng và phản kháng, dòng điện  $\cos\varphi_1$  ở phía sơ cấp.

#### Bài giải

Dòng điện định mức

$$I_{ldm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3} U_{ldm}} = \frac{60 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 1 \text{ A}$$

$$I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3} U_{2dm}} = \frac{60 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 8,66 \text{ A}.$$

Dòng điện không tải

$$I_o = I_{ldm} \cdot \frac{I_o \%}{100} = 1 \cdot \frac{11}{100} = 0,11 \text{ A}$$

Hệ số công suất khi không tải

$$\cos\varphi_o = \frac{P_o}{\sqrt{3} U_o I_o} = \frac{502}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3 \cdot 0,11} = 0,075.$$

Điện áp ngắn mạch dây

$$U_{ln} = U_{ldm} \frac{U_n \%}{100} = 35000 \frac{4,55}{100} = 1592 \text{ V}.$$

Điện áp ngắn mạch pha

$$U_{lnp} = U_{lpdm} \cdot \frac{U_n \%}{100} = \frac{35000}{\sqrt{3}} \cdot \frac{4,55}{100} = 919,5 \text{ V}$$

Hệ số công suất ngắn mạch

$$\cos\varphi_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_{ln}} = \frac{1200}{\sqrt{3} \cdot 1592} = 0,435.$$

b) Thông số sơ đồ thay thế

Điện trở từ hóa

$$R_{th} \approx \frac{P_{op}}{I_o^2} = \frac{P_o}{3I_o^2} = \frac{512}{3 \cdot 0,11^2} = 13829 \Omega.$$

Tổng trở từ hóa

$$z_{th} \approx \frac{U_{lp}}{I_o} = \frac{U_{ldm}}{\sqrt{3} I_o} = 35 \cdot \frac{10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,11} = 183707 \Omega.$$

Điện kháng từ hóa

$$X_{th} = \sqrt{z_{th}^2 - R_{th}^2} = 183185 \, \Omega.$$

Điện trở ngắn mạch

$$R_n = \frac{P_{np}}{I_{ldmp}^2} = \frac{P_n}{3I_{ldm}^2} = \frac{1200}{3 \cdot 1^2} = 400 \, \Omega$$

Tổng trở ngắn mạch

$$z_n = \frac{U_{lnp}}{I_{ldmp}} = \frac{919,5}{1} = 919,5 \, \Omega$$

Điện kháng ngắn mạch

$$X_n = \sqrt{z_n^2 - R_n^2} = \sqrt{919,5^2 - 400^2} = 828 \, \Omega$$

$$\text{Coi } R_1 \approx R'_2 = \frac{R_n}{2} = \frac{400}{2} = 200 \, \Omega$$

$$X_1 \approx X'_2 = \frac{828}{2} = 414 \, \Omega.$$

Nếu tính thông số thứ cấp chưa qui đổi cần tính hệ số biến áp pha  $k_p$  :

$$k_p = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_{ldm}}{\sqrt{3} U_{2dm}} = \frac{35000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 50,5$$

Thông số dây quấn thứ cấp chưa qui đổi

$$R_2 = \frac{R'_2}{k_p^2} = \frac{200}{50,5^2} = 0,078 \, \Omega ;$$

$$X_2 = \frac{X'_2}{k_p^2} = \frac{414}{50,5^2} = 0,162 \, \Omega.$$

Hệ số tải khi hiệu suất cực đại

$$k_l = \sqrt{\frac{P_o}{P_n}} = \sqrt{\frac{502}{1200}} = 0,647.$$

Hiệu suất máy khi  $k_l = 0,5$  ;  $\cos\varphi_l = 0,9$

$$\eta = \frac{k_l S_{dm} \cos\varphi_l}{k_l S_{dm} \cos\varphi_l + P_o + k_l^2 P_n} = \frac{0,5 \cdot 60000 \cdot 0,9}{0,5 \cdot 60000 \cdot 0,9 + 502 + 0,5^2 \cdot 1200} = 0,97$$

Công suất tác dụng phía sơ cấp

$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 + P_o + k_l^2 P_n = \\ &= 0,5 \cdot 60000 \cdot 0,9 + 502 + 0,5^2 \cdot 1200 = 27802 \, \text{W}. \end{aligned}$$

Bỏ qua từ thông tản, công suất phản kháng phía sơ cấp

$$Q_1 = Q_l + Q_{th},$$

trong đó  $Q_l$  là công suất phản kháng của tải

$$Q_l = k_l S_{dm} \sin \varphi_l = 0,5 \cdot 60000 \cdot \sqrt{1 - 0,9^2} = 13076 \text{ VAr.}$$

$Q_{lh}$  là công suất phản kháng cần thiết để từ hóa lõi thép  $Q_{lh} = Q_o$

$$Q_o = \sqrt{3} U_{lo} \sin \varphi_o = \sqrt{3} \cdot 35000 \cdot 0,11 \cdot \sqrt{1 - 0,075^2} = 6649 \text{ VAr}$$

Có thể tính

$$Q_o = \sqrt{(\sqrt{3} U_o I_o)^2 - P_o^2} = \sqrt{6668^2 - 502^2} = 6649 \text{ VAr.}$$

Vậy công suất phản kháng phía sơ cấp

$$Q_l = Q_l + Q_{lh} = 13076 + 6649 = 19725 \text{ VAr.}$$

Nếu xét từ thông tản thì  $Q_l$  tính như sau :

$$Q_l = Q_l + Q_{lh} + Q_{tan} = Q_l + Q_{lh} + k_l^2 Q_n$$

$Q_n$  là công suất phản kháng trong thí nghiệm ngắn mạch với dòng định mức.

Công suất biểu kiến phía sơ cấp

$$S_l = \sqrt{P_l^2 + Q_l^2} = \sqrt{27082^2 + 19725^2} = 33503 \text{ VA.}$$

Dòng điện sơ cấp

$$I_l = \frac{S_l}{\sqrt{3} U_l} = \frac{33503}{\sqrt{3} \cdot 35000} = 0,55 \text{ A.}$$

Hệ số công suất phía sơ cấp

$$\cos \varphi_l = \frac{P_l}{S_l} = \frac{27802}{33503} = 0,81.$$

#### Bài số 8.10.

Một máy biến áp ba pha Y/Y cung cấp điện cho tải nối tam giác, điện trở mỗi pha tải  $R_\Delta = 6 \Omega$ . Máy biến áp có các số liệu sau :  $U_{ldm} = 3000 \text{ V}$ ,  $U_{2dm} = 230 \text{ V}$ . Thông số các dây quấn  $R_l = 2,4 \Omega$  ;  $X_l = 4,4 \Omega$  ;  $X_2 = 0,026 \Omega$ ,  $R_2 = 0,0142 \Omega$ .

Tính điện áp đặt lên mỗi pha của tải và công suất tải tiêu thụ khi điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng định mức.

*Bài giải*

Biến đổi tải nối tam giác sang sao

$$R_Y = \frac{R_\Delta}{3} = \frac{6}{3} = 2 \Omega$$

$$\text{Hệ số biến áp } k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_{lpdm}}{U_{2pdm}} = \frac{1732}{132,8} = 13,$$

trong đó

$$U_{lpdm} = \frac{U_{ldm}}{\sqrt{3}} = \frac{3000}{\sqrt{3}} = 1732 \text{ V}$$

$$U_{2\text{pdm}} = \frac{U_{2\text{dm}}}{\sqrt{3}} = \frac{230}{\sqrt{3}} = 132,8 \text{ V.}$$

Các thông số phía thứ cấp quy về sơ cấp

$$R'_2 = k^2 R_2 = 13^2 \cdot 0,0142 = 2,4 \text{ } \Omega$$

$$X'_2 = k^2 X_2 = 13^2 \cdot 0,026 = 4,4 \text{ } \Omega$$

$$R'_Y = k^2 R_Y = 13^2 \cdot 2 = 338 \text{ } \Omega.$$

Dựa vào sơ đồ thay thế gần đúng ta được

$$\begin{aligned} I_{1p} = I'_{2p} &= \frac{U_{1p}}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + R'_Y)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \\ &= \frac{1732}{\sqrt{342,8^2 + 8,8^2}} = 5,05 \text{ A} \end{aligned}$$

Điện áp trên pha tải nối sao

$$U_{pY} = \frac{U'_{pY}}{k} = \frac{R'_Y I'_{2p}}{k} = \frac{338 \cdot 5,05}{13} = 131,3 \text{ V}$$

Điện áp trên pha tải nối tam giác

$$U_{p\Delta} = \sqrt{3} U_{pY} = \sqrt{3} \cdot 131,3 = 227,4 \text{ V}$$

Công suất tải tiêu thụ

$$P_1 = 3R_Y I_{2p}^2 = 3 R'_Y I_{2p}^2 = 25859,5 \text{ W}$$

Dòng điện trong pha tải nối  $\Delta$

$$I_{p\Delta} = \frac{I_{1p}}{\sqrt{3}} \cdot k = \frac{5,05}{\sqrt{3}} \cdot 13 = 37,9 \text{ A.}$$

## BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ CHƯƠNG 8

### Bài số 8-11

Một máy biến áp một pha  $S_{dm} = 150 \text{ KVA}$ ;  $U_{ldm} = 2400\text{V}$ ;  $U_{2dm} = 240 \text{ V}$ ;  $R_1 = 0,2\Omega$ ;  $X_1 = 0,45\Omega$ ;  $R_2 = 2\text{m}\Omega$ ;  $X_2 = 4,5\text{m}\Omega$ .

1) Tính  $R_n$ ,  $X_n$ ,  $I_{ldm}$ ,  $I_{2dm}$

2) Tính  $P_n$ ,  $P_o$ , biết rằng khi  $\cos\varphi_1 = 0,8$ , hệ số tải  $k_t = 1$ , hiệu suất  $\eta = 0,982$ .

Đáp số :  $R_n = 0,4\Omega$ ;  $X_n = 0,9\Omega$ ;  $I_{ldm} = 62,5\text{A}$

$$I_{2dm} = 625\text{A}; P_n = 1562,5\text{W}; P_o = 637\text{W}.$$

### Bài số 8-12

Một máy biến áp một pha có  $R_1 = 200\Omega$ ;  $R_2 =$

$2\Omega$  điện cảm tản  $L_1 = 50\text{mH}$ ;  $L_2 = 0,5\text{mH}$ ;  $\frac{W_1}{W_2} = 10$ ;

sơ cấp máy biến áp nối với máy phát sin, có tần số  $f = 5000 \text{ Hz}$ , điện trở trong  $R_{tr} = 1600\Omega$ ; sức điện động  $E = 100\text{V}$ . Thứ cấp nối với tải có  $R_{tải} = 16\Omega$ .

1) Xác định công suất tải tiêu thụ.

2) Xác định điện áp trên tải

Đáp số:  $P_{tải} = 0,7\text{W}$ ;  $U_2 = 3,348 \text{ V}$

### Bài số 8-13

Một máy biến áp ba pha 11000/415V

Biết điện áp mỗi vòng dây 4V

Tính số vòng sơ cấp và thứ cấp trong các trường hợp

a) Nối Y/Y

b) Nối  $\Delta/Y$ .

Đáp số a)  $W_1 = 1588$ ;  $W_2 = 60$

b)  $W_1 = 2750$ ;  $W_2 = 60$

### Bài số 8-14

Máy biến áp ba pha  $S_{dm} = 160 \text{ kVA}$ ;  $U_{ldm} = 15\text{kV}$   $U_{2dm} = 400\text{V}$ ;  $P_o = 460\text{W}$ ;  $P_n = 2350\text{W}$ ;  $U_n\% = 4\%$ ; Y/Y - 12. Cho biết  $R_1 \approx R'_2$ ;  $X_1 \approx X'_2$

1) Tính  $I_{ldm}$ ,  $I_{2dm}$ ,  $R_n$ ,  $X_n$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $X_1$ ,  $X_2$

2) Tính  $\eta$  khi  $k_t = 0,75$ ;  $\cos\varphi_1 = 0,8$

3) Tính  $\Delta U_2\%$ ,  $U_2$  khi  $k_t = 1$ ,  $\cos\varphi_1 = 0,8$  ( $\varphi_1 > 0$ ).

*Đáp số:*  $I_{1dm} = 6,16A$ ;  $I_{2dm} = 230,95A$ ;  $R_n = 20,64\Omega$

$Z_n = 56,24\Omega$ ;  $X_n = 52,31\Omega$ ;  $R_1 = 10,32\Omega$ ;  $X_1 = 26,15\Omega$

$R_2 = 7,34m\Omega$ ;  $X_2 = 18,6m\Omega$ ;  $\eta = 0,98$  ;  $\Delta U_2\% = 3,4\%$

$U_2 = 386,4\text{ V}$ .



## Chương 9

# MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

### § 9.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Máy điện không đồng bộ là loại máy điện xoay chiều, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có tốc độ quay của rôto  $n$  (tốc độ của máy) khác với tốc độ quay của từ trường  $n_1$ .

Máy điện không đồng bộ có hai dây quấn : dây quấn stato (sơ cấp) nối với lưới điện tần số không đổi  $f$ , dây quấn rôto (thứ cấp) được nối tắt lại hoặc khép kín qua điện trở. Dòng điện trong dây quấn rôto được sinh ra nhờ sức điện động cảm ứng có tần số  $f_2$  phụ thuộc vào tốc độ rôto nghĩa là phụ thuộc vào tải ở trên trục của máy.

Cũng như các máy điện quay khác, máy điện không đồng bộ có tính thuận nghịch, nghĩa là có thể làm việc ở chế độ động cơ điện, cũng như chế độ máy phát điện.

Máy phát điện không đồng bộ có đặc tính làm việc không tốt lắm so với máy phát điện đồng bộ, nên ít được dùng.

Động cơ điện không đồng bộ so với các loại động cơ khác có cấu tạo và vận hành không phức tạp, giá thành rẻ, làm việc tin cậy nên được sử dụng nhiều trong sản xuất và sinh hoạt. Dưới đây ta chỉ xét động cơ điện không đồng bộ. Động cơ điện không đồng bộ có các loại : động cơ ba pha, hai pha và một pha.

Động cơ điện không đồng bộ có công suất lớn trên 600 W thường là loại ba pha có ba dây quấn làm việc, trục các dây quấn lệch nhau trong không gian một góc  $120^\circ$  điện.

Các động cơ công suất nhỏ dưới 600 W thường là động cơ hai pha hoặc một pha. Động cơ hai pha có 2 dây quấn làm việc, trục của 2 dây quấn đặt lệch nhau trong không gian một góc  $90^\circ$  điện. Động cơ điện một pha, chỉ có một dây quấn làm việc.

Các số liệu định mức của động cơ không đồng bộ là :

Công suất cơ có ích trên trục  $P_{dm}$

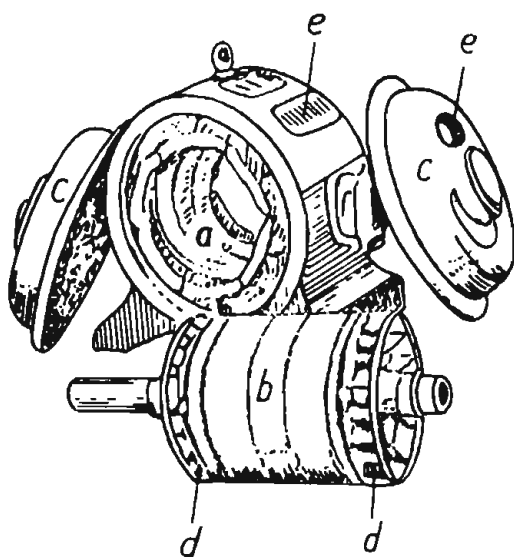
Điện áp dây stato  $U_{ldm}$

Dòng điện dây stato  $I_{ldm}$

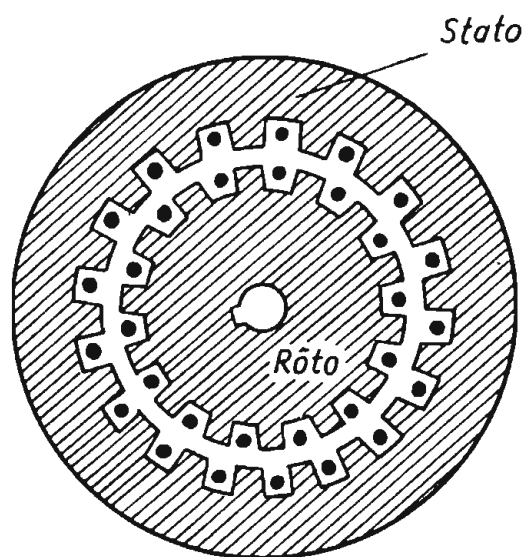
Tần số dòng điện stato	$f$
Tốc độ quay rôto	$n_{dm}$
Hệ số công suất	$\cos\varphi_{dm}$
Hiệu suất	$\eta_{dm}$

## § 9.2. CẤU TẠO CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Cấu tạo của máy điện không đồng bộ được vẽ trên hình 9.1, gồm 2 bộ phận chủ yếu là stato và rôto, ngoài ra còn có vỏ máy và nắp máy. Hình 9.2 vẽ mặt cắt ngang trục máy, cho ta thấy rõ các lá thép stato và rôto.



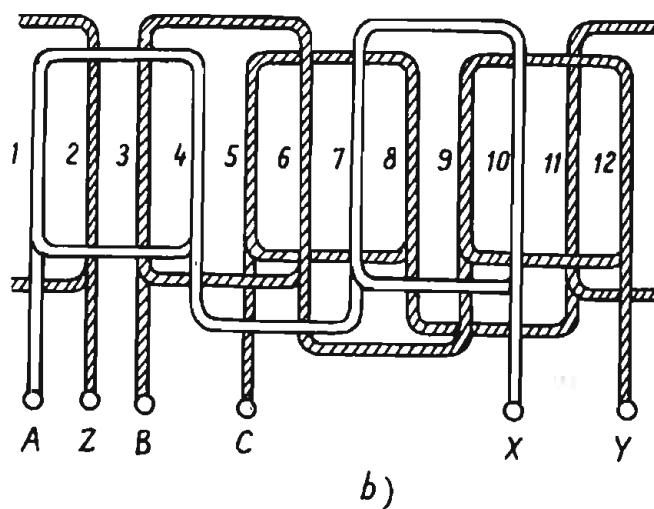
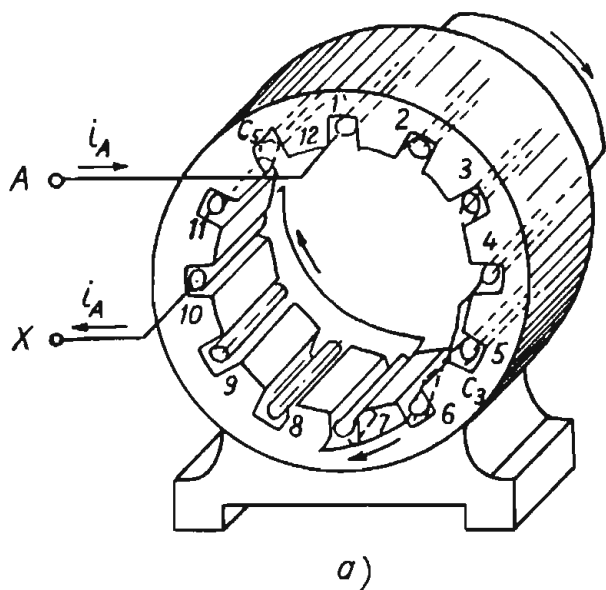
Hình 9.1.



Hình 9.2.

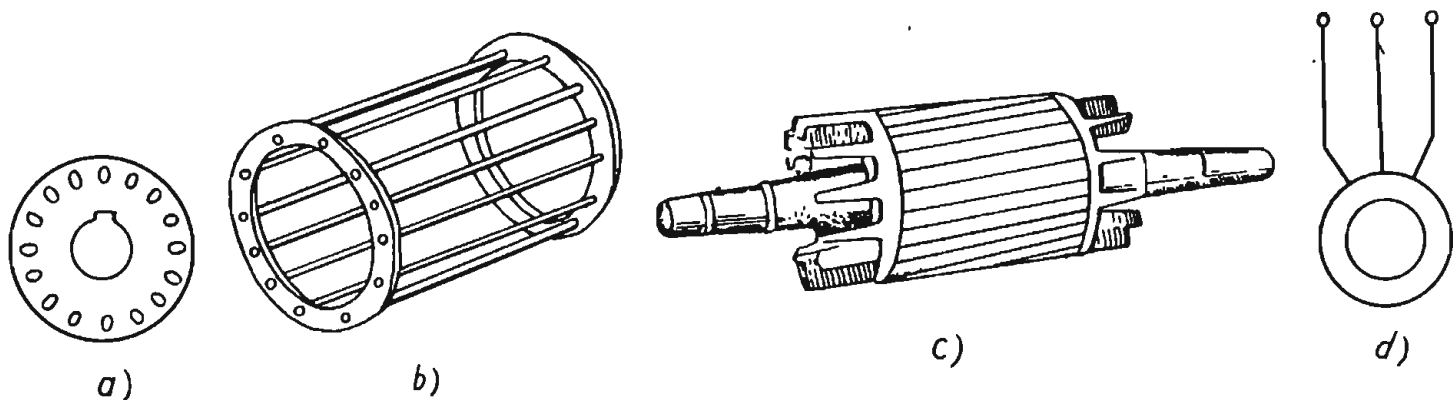
### 9.2.1. Stato

Stato là phần tĩnh gồm 2 bộ phận chính là lõi thép và dây quấn, ngoài ra có vỏ máy và nắp máy.



Hình 9.3.

a) *Lõi thép*. Lõi thép stato hình trụ (hình 9.3a) do các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh bên trong (hình 9.2), ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục. Lõi thép được ép vào trong vỏ máy.



Hình 9.4.

b) *Dây quấn*. Dây quấn stato làm bằng dây dẫn bọc cách điện (dây điện từ) được đặt trong các rãnh của lõi thép (hình 9.3a). Trên hình 9.3b vẽ sơ đồ khai triển dây quấn ba pha đặt trong 12 rãnh, dây quấn pha A trong các rãnh 1, 4, 7, 10, pha B trong các rãnh 3, 6, 9, 12 rãnh, pha C trong các rãnh 5, 8, 11, 2.

Dòng điện xoay chiều ba pha chạy trong ba pha dây quấn stato sẽ tạo ra từ trường quay.

c) *Vỏ máy*. Vỏ máy làm bằng nhôm hoặc bằng gang, dùng để giữ chặt lõi thép và cố định máy trên bệ. Hai đầu vỏ có nắp máy, ổ đỡ trục. Vỏ máy và nắp máy còn dùng để bảo vệ máy.

### 9.2.2. Rôto

Rôto là phần quay gồm lõi thép, dây quấn và trục máy.

a) *Lõi thép*. Lõi thép gồm các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh mặt ngoài (hình 9.4a) ghép lại, tạo thành các rãnh theo hướng trục, ở giữa có lỗ để lắp trục.

b) *Dây quấn*. Dây quấn rôto của máy điện không đồng bộ có hai kiểu : rôto ngắn mạch (còn gọi là rôto lồng sóc) và rôto dây quấn. Loại rôto lồng sóc công suất trên 100 kW, trong các rãnh của lõi thép rôto đặt các thanh đồng, hai đầu nối ngắn mạch bằng 2 vòng đồng tạo thành lồng sóc (hình 9.4b).

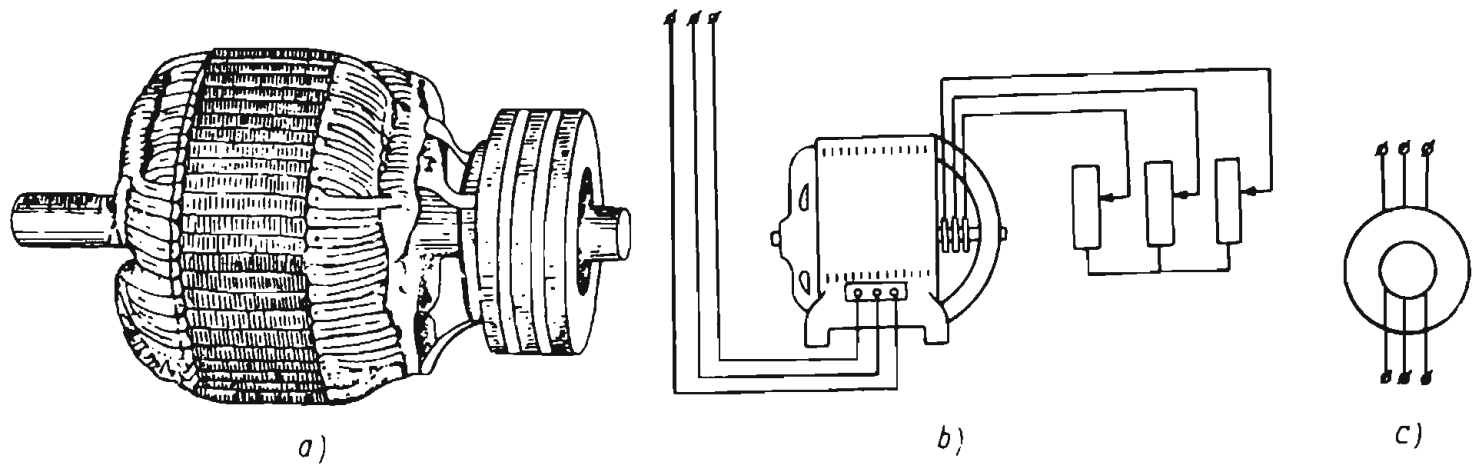
Ở động cơ công suất nhỏ, lồng sóc được chế tạo bằng cách đúc nhôm vào các rãnh lõi thép rôto, tạo thành thanh nhôm, hai đầu đúc vòng ngắn mạch và cánh quạt làm mát (hình 9.4c). Động cơ điện có rôto lồng sóc gọi là động cơ không đồng bộ lồng sóc được ký hiệu như hình 9.4d.

Loại rôto dây quấn, trong rãnh lõi thép rôto, đặt dây quấn ba pha. Dây quấn rôto thường nối sao, ba đầu ra nối với ba vòng tiếp xúc bằng đồng, cố định trên trục rôto và được cách điện với trục (hình 9.5a).

Nhờ ba chổi than tỳ sát vào ba vòng tiếp xúc, dây quấn rôto được nối với 3 vòng tiếp xúc, nhờ chổi than dây quấn rôto được nối với 3 biến trở bên ngoài, để mở máy hay

điều chỉnh tốc độ (hình 9.5b) Loại động cơ này gọi là động cơ không đồng bộ rôto dây quấn, trên các sơ đồ điện được ký hiệu như hình 9.5c.

Động cơ lồng sóc là loại rất phổ biến do giá thành rẻ và làm việc đảm bảo. Động cơ rôto dây quấn có ưu điểm về mở máy và điều chỉnh tốc độ song giá thành đắt và vận hành kém tin cậy hơn động cơ lồng sóc, nên chỉ được dùng khi động cơ lồng sóc không đáp ứng được các yêu cầu về truyền động.



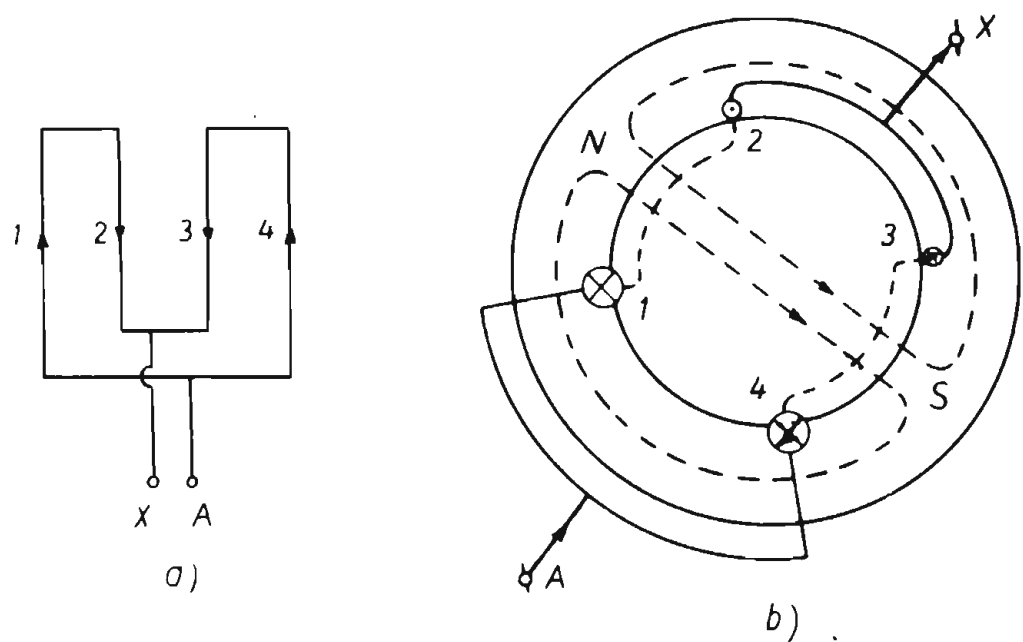
Hình 9.5.

§ 9.3. TỪ TRƯỜNG CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

9.3.1. Từ trường đập mạch của dây quấn một pha

Từ trường của dây quấn một pha là từ trường có phương không đổi, song trị số và chiều biến đổi theo thời gian, được gọi là từ trường đập mạch. Gọi p là số đôi cực, ta có thể cấu tạo dây quấn để tạo ra từ trường một, hai hoặc p đôi cực.

Để đơn giản ta hãy xét dây quấn một pha đặt trong 4 rãnh của stato. Dòng điện trong dây quấn là dòng điện một pha  $i = I_{max} \sin \omega t$  (hình 9.6 và 9.7) Trên hình vẽ, chiều dòng điện trong thanh 1 đi đến 1' được ký hiệu  $\otimes$  ở rãnh 1



Hình 9.6.

(hình 9.6b) trong thanh 2 đi từ 2' đến 2 được ký hiệu  $\bullet$  ở rãnh 2 Cũng ký hiệu tương tự đối với các thanh còn lại. Căn cứ vào chiều dòng điện, vẽ được chiều từ trường theo qui tắc vắn nút chai. Dây quấn hình 9.6a tạo thành từ trường một đôi

Theo quy tắc vắn nút chai ta xác định chiều từ trường từ đó thấy được có 1 đôi hay hai đôi cực

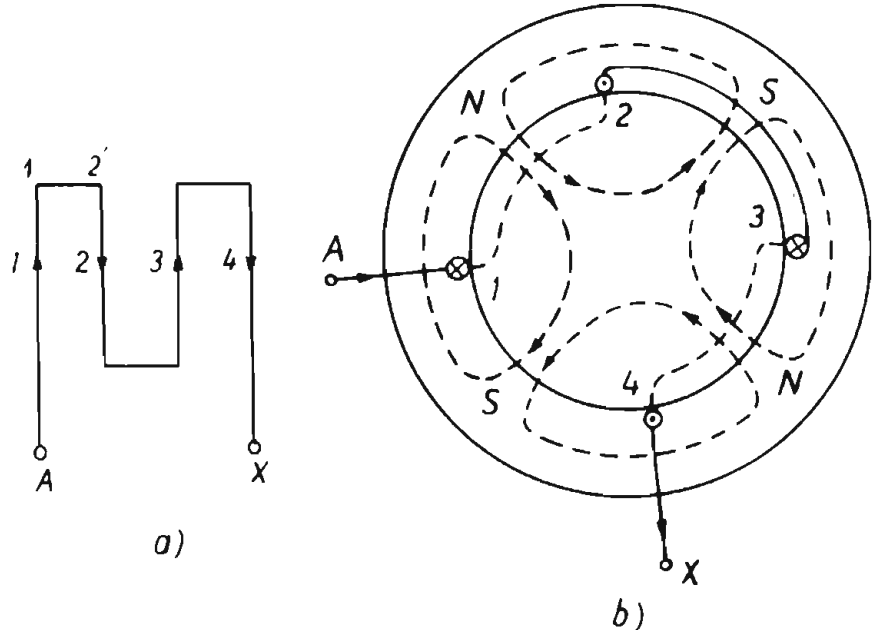
cực :  $p = 1$  (hình 9.6b). Dây quấn ở hình 9.7a tạo nên từ trường 2 đôi cực  $p = 2$  (hình 9.7b).

~~9.3.2.~~ 9.3.2. Từ trường quay của dây quấn ba pha

Dòng điện xoay chiều ba pha có ưu điểm lớn là tạo ra từ trường quay trong các máy điện.

a) Sự tạo thành từ trường quay

Trên hình 9.8a, b, c, vẽ mặt cắt ngang của máy điện ba pha đơn giản, trong đó dây quấn ba pha đối xứng ở stato AX, BY, CZ đặt trong 6 rãnh. Trục của các dây quấn lệch nhau trong không gian một góc  $120^\circ$  điện.



Hình 9.7.

Giả thiết trong 3 dây quấn có dòng điện ba pha đối xứng chạy qua (hình 9.8).

$$\begin{aligned} i_A &= I_{max} \sin \omega t \\ i_B &= I_{max} \sin (\omega t - 120^\circ) \\ i_C &= I_{max} \sin (\omega t - 240^\circ) \end{aligned}$$

Để thấy rõ sự hình thành từ trường, khi vẽ từ trường ta qui ước chiều dòng điện như sau :

- Dòng điện pha nào dương có chiều từ đầu đến cuối pha, đầu được ký hiệu bằng vòng tròn có dấu nhân ở giữa  $\otimes$ , còn cuối ký hiệu bằng vòng tròn có dấu chấm ở giữa  $\odot$ . Dòng điện pha nào âm có chiều và ký hiệu ngược lại, đầu ký hiệu bằng  $\odot$  cuối ký hiệu bằng  $\otimes$

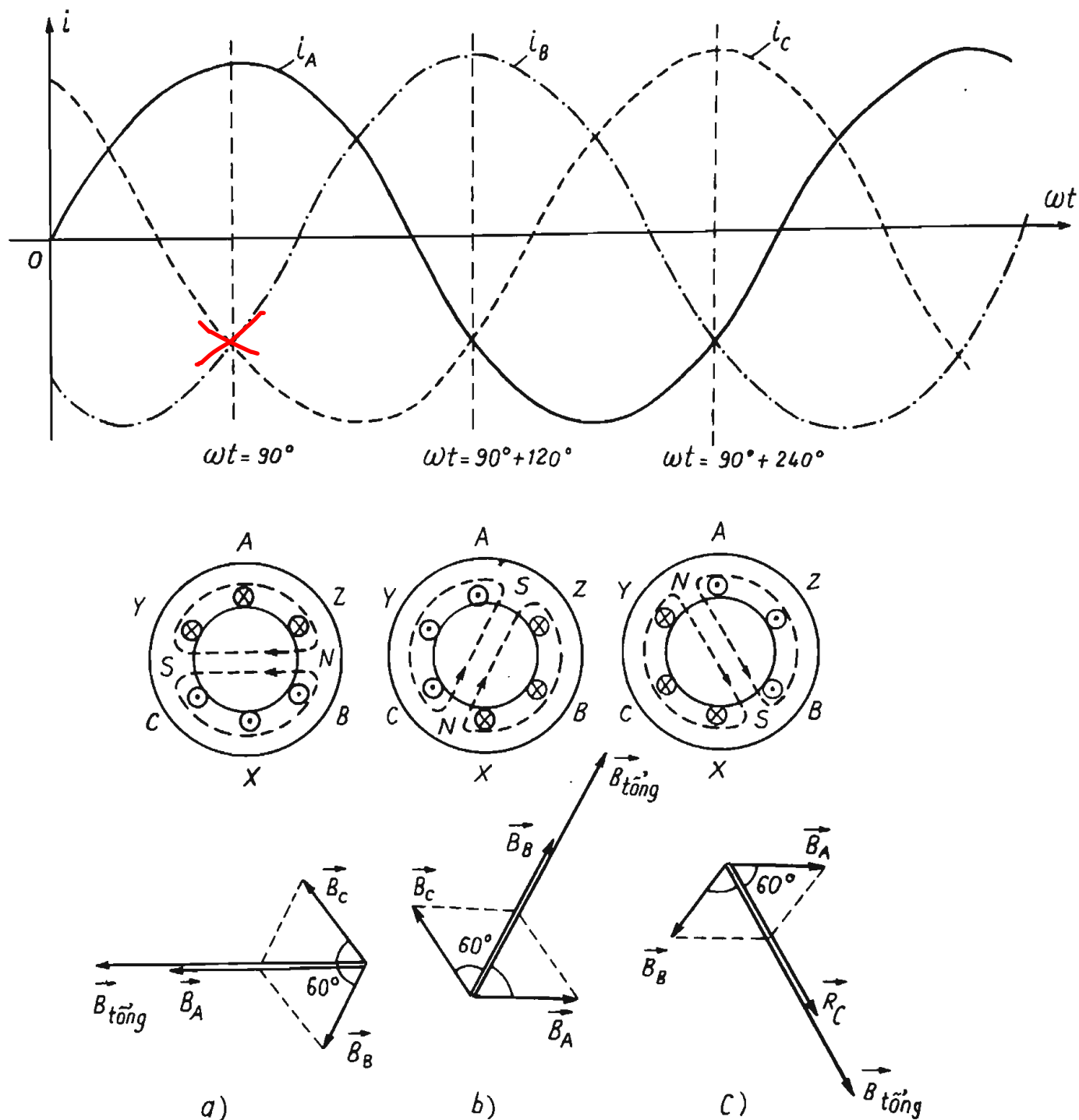
Bây giờ ta xét từ trường ở các thời điểm khác nhau

- Thời điểm pha  $\omega t = 90^\circ$  Ở thời điểm này, dòng điện pha A cực đại và dương (xem hình 9.8a), dòng điện pha B và C âm theo qui định trên, dòng điện pha A dương, nên đầu A ký hiệu là  $\otimes$ , cuối X ký hiệu là  $\odot$ , dòng điện pha B và C ký hiệu là  $\odot$ , cuối Y và Z ký hiệu là  $\otimes$  (xem hình 9.8a)

Dùng qui tắc vắn nút chai xác định chiều đường sức từ trường do các dòng điện sinh ra (hình 9.8a), từ trường tổng có một cực S và một cực N, được gọi là từ trường một đôi cực ( $p = 1$ ) Trục của từ trường tổng trùng với trục dây quấn pha A là pha có dòng điện cực đại

- Thời điểm pha  $\omega t = 90^\circ + 120^\circ$  Là thời điểm sau thời điểm đã xét ở trên một phần ba chu kỳ Ở thời điểm này, dòng điện pha B cực đại và dương, các dòng điện pha A và C âm (hình 9.8b) Dùng qui tắc vắn nút chai xác định chiều đường

sức từ trường. Ta thấy từ trường tổng đã quay đi một góc là  $120^\circ$  so với thời điểm trước. Trục của từ trường tổng trùng với trục dây quấn pha B là pha có dòng điện cực đại.



Hình 9.8.

- Thời điểm pha  $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$  : Là thời điểm chậm sau thời điểm đầu 2/3 chu kỳ ; lúc này dòng điện pha C cực đại và dương, còn dòng điện pha A và B âm (hình 9.8c).  
 Từ trường tổng ở thời điểm này đã quay đi một góc  $240^\circ$  so với thời điểm đầu. Trục của từ trường tổng trùng với trục của dây quấn pha C là pha có dòng điện cực đại.

Qua sự phân tích ở trên, ta thấy từ trường tổng của dòng điện ba pha là từ trường quay. Từ trường quay móc vòng với cả hai dây quấn stato và rôto, đó là từ trường chính của máy điện, tham gia vào quá trình biến đổi năng lượng.

Với cách cấu tạo dây quấn như trên, ta có từ trường quay một đôi cực. Nếu thay đổi cách cấu tạo dây quấn, ta có từ trường 2, 3 hay 4 v.v... đôi cực.

b) Đặc điểm của từ trường quay

Từ trường quay của hệ thống dòng điện ba pha đối xứng có 3 đặc điểm quan trọng.

- Tốc độ từ trường quay

Tốc độ từ trường quay phụ thuộc vào số dòng điện stato f và số đôi cực p. Thật vậy, ở hình 9.8 khi dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay được một vòng, do đó trong một giây dòng điện stato biến thiên f chu kỳ, từ trường quay được f vòng. Vậy khi từ trường có một đôi cực, tốc độ của từ trường quay là  $n_1 = f$  vòng/giây . Khi từ trường có 2 đôi cực, dòng điện biến thiên một chu kỳ, từ trường quay được 1/2 vòng (từ cực N qua S đến N là 1/2 vòng), do đó tốc độ từ trường quay là  $n_1 = f/2$ . Một cách tổng quát, khi từ trường quay có p đôi cực, tốc độ từ trường quay (còn gọi là tốc độ đồng bộ) là :

$$n_1 = \frac{f}{p} \text{ (vòng/giây)} \tag{9.1a}$$

hoặc 
$$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vòng/phút)} \tag{9.1b}$$

- Chiều quay của từ trường.

Chiều quay của từ trường phụ thuộc vào thứ tự pha của dòng điện. Muốn đổi chiều quay của từ trường ta thay đổi thứ tự hai pha với nhau (hình 9.9).

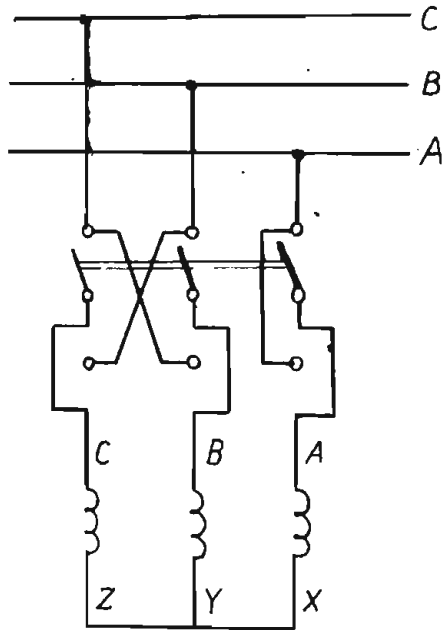
Thật vậy, ở hình 9.9 khi thứ tự dòng điện các pha cực đại lần lượt là pha A, pha B rồi đến pha C một cách chu kỳ thì từ trường quay từ trục dây quấn pha A đến trục dây quấn pha B rồi đến trục dây quấn pha C một cách tương ứng.

Như vậy nếu thay đổi thứ tự hai pha cho nhau, ví dụ dòng điện  $i_B$  cho vào dây quấn CZ, dòng điện  $i_C$  cho vào dây quấn BY, từ trường sẽ quay theo chiều từ trục dây quấn AX đến trục dây quấn CZ (có dòng điện  $i_B$ ) rồi đến trục dây quấn BY (có dòng điện  $i_C$ ), nghĩa là từ trường quay theo chiều ngược lại (xem bài tập 9.1).

- Biên độ của từ trường quay.

Từ trường quay sinh ra từ thông  $\Phi$  xuyên qua mỗi dây quấn. Ví dụ ta xét từ thông của từ trường quay xuyên qua dây quấn AX.

Dây quấn các pha lệch về không gian với pha A một góc lần lượt là  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ , từ thông xuyên qua



Hình 9.9.

dây quấn AX do dây quấn ba pha là :

$$\begin{aligned}\Phi &= \Phi_A + \Phi_B \cos(-120^\circ) + \Phi_C \cos(-240^\circ) \\ &= \Phi_A - \frac{1}{2}(\Phi_B + \Phi_C)\end{aligned}\quad (9.2)$$

Hệ thống dòng điện ba pha đối xứng  $\Phi_A + \Phi_B + \Phi_C = 0$  hay

$$\Phi_B + \Phi_C = -\Phi_A$$

do đó :

$$\Phi = \Phi_A + \frac{\Phi_A}{2} = \frac{3}{2} \Phi_A \quad (9.3)$$

Dòng điện  $i_A = I_{\max} \sin \omega t$  , nên :

Từ thông của dòng điện pha A là :

$$\Phi_A = \Phi_{A\max} \sin \omega t$$

Cuối cùng ta có :

$$\Phi = \frac{3}{2} \Phi_{A\max} \sin \omega t$$

Vậy từ thông của từ trường quay xuyên qua dây quấn biến thiên hình sin và có biên độ bằng 3/2 từ thông cực đại của một pha.

$$\Phi_{\max} = \frac{3}{2} \Phi_{p\max} \quad (9.4)$$

trong đó  $\Phi_{p\max}$  là từ thông cực đại của một pha.

Đối với dây quấn m pha thì :

$$\Phi_{\max} = \frac{m}{2} \Phi_{p\max} \quad (9.5)$$

### 9.3.3. Từ trường quay của dây quấn hai pha

Khi có dây quấn hai pha ( $m = 2$ ) đặt lệch nhau trong không gian góc  $90^\circ$  điện, dòng điện trong hai dây quấn lệch pha nhau về thời gian  $90^\circ$ , cũng phân tích như trên, từ trường của hai pha là từ trường quay có các tính chất như đã xét ở trên và có biên độ là

$$\Phi_{\max} = \frac{m}{2} \Phi_{p\max} = \Phi_{p\max} \quad (9.6)$$

Từ trường quay của dây quấn hai pha có biên độ bằng biên độ từ trường một pha.

Qua phân tích ở trên thấy rằng khi dây quấn đối xứng và dòng điện các pha đối xứng từ trường quay tròn có biên độ không đổi và tốc độ không đổi. Từ trường quay tròn sẽ cho đặc tính của máy tốt. Khi không đối xứng từ trường quay ellíp có biên độ và tốc độ quay biến đổi



9.3.4. Từ thông tản

Bộ phận từ thông chỉ móc vòng riêng rẽ với mỗi dây quấn gọi là từ thông tản. Ta có từ thông tản stato, chỉ móc vòng với dây quấn stato, từ thông tản rôto chỉ móc vòng với dây quấn rôto. Từ thông tản được đặc trưng bằng điện kháng tản, như đã xét ở máy biến áp.

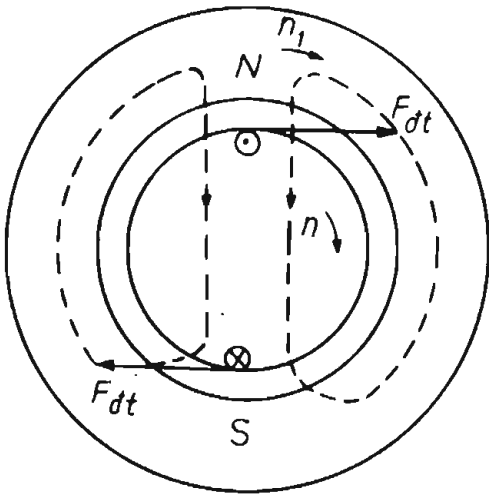
§ 9.4. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

9.4.1. Nguyên lý làm việc của động cơ điện không đồng bộ

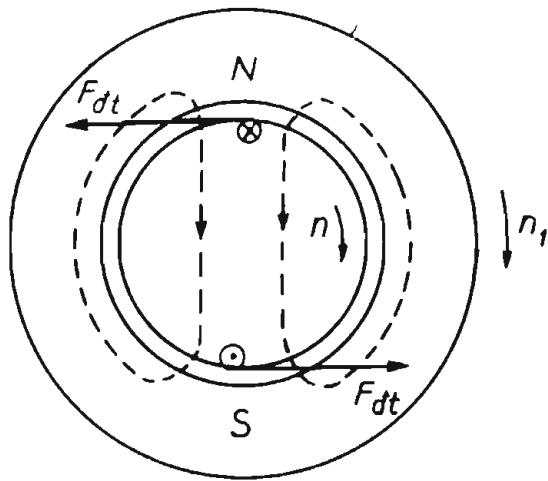
Khi ta cho dòng điện ba pha tần số  $f$  vào ba dây quấn stato, sẽ tạo ra từ trường quay  $p$  đôi cực, quay với tốc độ là  $n_1 = \frac{60f}{p}$ . Từ trường quay cắt các thanh dẫn của dây quấn rôto, cảm ứng các sức điện động. Vì dây quấn rôto nối ngắn mạch, nên sức điện động cảm ứng sẽ sinh ra dòng trong các thanh dẫn rôto. Lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay của máy với thanh dẫn mang dòng điện rôto, kéo rôto quay cùng chiều quay từ trường với tốc độ  $n$ .

Để minh họa, trên hình 9.10a vẽ từ trường quay tốc độ  $n_1$ , chiều sức điện động và dòng điện cảm ứng trong thanh dẫn rôto, chiều các lực điện từ  $F_{dt}$ .

Khi xác định chiều sức điện động cảm ứng theo qui tắc bàn tay phải, ta căn cứ vào chiều chuyển động tương đối của thanh dẫn với từ trường. Nếu coi từ trường đứng yên, thì chiều chuyển động



Hình 9.10a.



Hình 9.10b.

tương đối của thanh dẫn ngược với chiều  $n_1$ , từ đó áp dụng qui tắc bàn tay phải, xác định được chiều sdd như hình vẽ (dấu  $\otimes$  chỉ chiều đi từ ngoài vào trang giấy).

Chiều lực điện từ xác định theo qui tắc bàn tay trái, trùng với chiều quay  $n_1$ .

Tốc độ  $n$  của máy nhỏ hơn tốc độ từ trường quay  $n_1$  vì nếu tốc độ bằng nhau thì không có sự chuyển động tương đối, trong dây quấn rôto không có sdd và dòng điện cảm ứng, lực điện từ bằng không.

Độ chênh lệch giữa tốc độ từ trường quay và tốc độ máy gọi là tốc độ trượt  $n_2$

$$n_2 = n_1 - n$$

Hệ số trượt của tốc độ là :

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (9.7)$$

Khi rôto đứng yên ( $n = 0$ ), hệ số trượt  $s = 1$  ; khi rôto quay định mức  $s = 0,02 \div 0,06$ . Tốc độ động cơ là :

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p} (1 - s) \text{ vg/ph} \quad (9.8)$$

#### 9.4.2. Nguyên lý làm việc của máy phát điện không đồng bộ

Nếu bây giờ stato vẫn nối với lưới điện, nhưng trục rôto không nối với tải, mà nối với một động cơ sơ cấp. Dùng động cơ sơ cấp kéo rôto quay cùng chiều với  $n_1$  và với tốc độ  $n$  lớn hơn tốc độ từ trường quay  $n_1$ . Lúc này, chiều dòng điện rôto  $I_2$  ngược lại với chiều dòng động cơ và lực điện từ đổi chiều. Lực điện từ tác dụng lên rôto ngược với chiều quay, gây ra mômen hãm cân bằng với mômen quay động cơ sơ cấp (hình 9.10b). Máy điện làm việc ở chế độ máy phát. Hệ số trượt là :

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} < 0$$

Nhờ từ trường quay, cơ năng động cơ sơ cấp đưa vào rôto được biến thành điện năng ở stato. Để tạo ra từ trường quay, lưới điện phải cung cấp cho máy phát không đồng bộ công suất phản kháng  $Q$ , vì thế làm cho hệ số công suất  $\cos\varphi$  của lưới điện thấp đi. Khi máy phát làm việc riêng lẻ, ta phải dùng tụ điện nối ở đầu cực máy để kích từ cho máy.

Đó là nhược điểm của máy phát không đồng bộ, vì thế ít khi dùng máy phát không đồng bộ.

### § 9.5. MÔ HÌNH TOÁN CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

#### 9.5.1. Phương trình điện áp dây quấn stato

Dây quấn stato của động cơ điện tương tự như dây quấn sơ cấp của máy biến áp, ta có phương trình điện áp là :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \bar{Z}_1 - \dot{E}_1 \quad (9.9)$$

trong đó :  $\bar{Z}_1 = R_1 + jX_1$  là tổng trở dây quấn stato.

$R_1$  là điện trở dây quấn stato.

$X_1 = 2\pi f L_1$  là điện kháng tản dây quấn stato, đặc trưng cho từ thông tản stato.

$f$  - tần số dòng điện stato.

$L_1$  - điện cảm tản stato

$E_1$  - sức điện động pha stato do từ thông của từ trường quay sinh ra có trị số là :

$$E_1 = 4,44fw_1k_{dq1}\Phi_{\max} \quad (9.10)$$

$w_1$ ,  $k_{dq1}$  thứ tự là số vòng dây và hệ số dây quấn của một pha stato. Hệ số dây quấn  $k_{dq1} < 1$ , nói lên sự giảm sức điện động của dây quấn do quấn rải trên các rãnh và bước rút ngắn, so với quấn tập trung như máy biến áp.

$\Phi_{\max}$  - biên độ từ thông của từ trường quay.

### 9:5.2. Phương trình dây quấn rôto

Từ trường chính quay với tốc độ  $n_1$ , rôto quay với tốc độ  $n$  vậy từ trường chính quay đối với dây quấn rôto tốc độ trượt  $n_2 = n_1 - n$ .

Tần số sức điện động và dòng điện trong dây quấn rôto là :

$$f_2 = \frac{pn_2}{60} = \frac{spn_1}{60} = sf \quad (9.11)$$

Tần số dòng điện rôto lúc quay bằng hệ số trượt nhân với tần số dòng điện stato  $f$ . Lúc rôto đứng yên tần số dòng điện rôto là  $f$ .

Sức điện động pha dây quấn rôto lúc quay là :

$$E_{2s} = 4,44f_2w_2k_{dq2}\Phi_{\max} \quad (9.12a)$$

$$= 4,44sfw_2k_{dq2}\Phi_{\max} \quad (9.12b)$$

$w_2$ ,  $k_{dq2}$  thứ tự là số vòng dây, hệ số dây quấn của dây quấn rôto. Hệ số  $k_{dq2} < 1$  nói lên sự giảm sức điện động do dây quấn rôto rải trên các rãnh và bước rút ngắn.

Khi rôto đứng yên  $s = 1$ , tần số  $f_2 = f$ . Sức điện động dây quấn rôto lúc đứng yên là :

$$E_2 = 4,44fw_2k_{dq2}\Phi_{\max} \quad (9.13)$$

So sánh (9.13) và (9.12b) ta thấy

$$E_{2s} = sE_2 \quad (9.14)$$

Sức điện động pha rôto lúc quay  $E_{2s}$  bằng sức điện động pha rôto lúc không quay nhân với hệ số trượt  $s$ .

Cũng tương tự như vậy điện kháng tản dây quấn rôto lúc quay là :

$$X_{2s} = 2\pi f_2 L_2 = s.2\pi f L_2 = sX_2, \quad (9.15)$$

trong đó  $L_2$  là điện cảm tản pha dây quấn rôto,  $X_2 = 2\pi f L_2$  là điện kháng tản rôto lúc không quay. Điện kháng tản rôto lúc quay bằng điện kháng tản rôto lúc không quay nhân với hệ số trượt  $s$ .

Từ (9.13) và (9.10) ta có tỷ số sđđ pha stato và rôto là :

$$k_e = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}}, \quad (9.16)$$

$k_e$  gọi là hệ số qui đổi sức điện động rôto

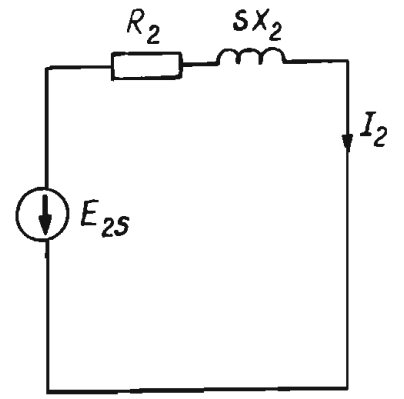
Chọn chiều  $E_{2s}$ ,  $I_2$  như hình 9.11. Vì dây quấn rôto ngắn mạch, nên phương trình điện áp dây quấn rôto quay là :

$$-E_{2s} = \dot{I}_2(R_2 + jX_{2s}) \quad (9.17a)$$

$$\text{hoặc :} \quad 0 = sE_2 + \dot{I}_2(R_2 + jX_{2s}) \quad (9.17b)$$

Trong phương trình (9.17) dòng điện rôto có tần số  $f_2 = sf$  và trị số hiệu dụng là :

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \quad (9.18)$$



Hình 9.11.

### 9.5.3. Phương trình sức từ động của động cơ không đồng bộ

Khi động cơ làm việc, từ trường quay trong máy do dòng điện của cả hai dây quấn sinh ra. Dòng điện trong dây quấn stato sinh ra từ trường quay stato quay tốc độ  $n_1$  đối với stato. Dòng điện trong dây quấn rôto sinh ra từ trường quay rôto, quay đối với rôto tốc độ :

$$n_2 = \frac{60f_2}{p} = \frac{s60f}{p} = sn_1.$$

Vì rôto quay đối với stato tốc độ  $n$ , cho nên từ trường rôto sẽ quay đối với stato tốc độ là :

$$n_2 + n = sn_1 + n = sn_1 + n_1(1 - s) = n_1$$

Như vậy, từ trường quay stato và từ trường quay rôto không chuyển động tương đối với nhau. Từ trường tổng hợp của máy sẽ là từ trường quay với tốc độ  $n_1$ .

Cũng lý luận như ở máy biến áp, từ thông  $\Phi_{\max}$  có trị số hầu như không đổi ứng với chế độ không tải và có tải. Do đó ta có thể viết được phương trình sức từ động của động cơ :

$$m_1 w_1 k_{dq1} \dot{I}_1 - m_2 w_2 k_{dq2} \dot{I}_2 = m_1 w_1 k_{dq1} \dot{I}_0,$$

trong đó :  $\dot{I}_0$  là dòng điện stato lúc không tải ;

$\dot{I}_1, \dot{I}_2$  là dòng điện stato và rôto khi động cơ kéo tải ;

$m_1, m_2$  là số pha của dây quấn stato và rôto.

Các hệ số  $m_1 w_1 k_{dq1}$   $m_2 w_2 k_{dq2}$  nói lên từ trường quay do đồng thời  $m_1$  pha stato và  $m_2$  pha rôto sinh ra và có xét đến số vòng dây và cấu tạo các dây quấn.

Dấu trừ trước  $I_2$  vì ta chọn chiều  $I_2$  không phù hợp với chiều từ thông theo qui tắc vận nút chai.

Chia hai vế cho  $m_1 w_1 k_{dq1}$  và đặt :

$$\frac{\dot{I}_2}{\frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}}} = \frac{\dot{I}_2}{k_i} = \dot{I}'_2,$$

$$\text{ta có :} \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (9.19)$$

$\dot{I}'_2$  là dòng điện rôto qui đổi về stato, hệ số

$$k_i = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} \quad (9.20)$$

gọi là hệ số qui đổi dòng điện rôto.

## § 9.6. SƠ ĐỒ THAY THẾ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Để thuận tiện cho việc nghiên cứu và tính toán, từ hệ phương trình điện áp và sức từ động của động cơ, ta thành lập một sơ đồ điện, gọi là sơ đồ thay thế động cơ điện.

Theo (9.9), (9.17b), (9.19) hệ phương trình của động cơ điện là :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1(R_1 + jX_1) - \dot{E}_1 \quad (9.21)$$

$$0 = s\dot{E}_2 + \dot{I}_2(R_2 + jsX_2) \quad (9.22)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (9.23)$$

Phương trình (9.22) là phương trình mạch điện rôto lúc quay, trong đó dòng điện  $I_1$  có tần số  $f_2 = sf$ .

Chia (9.22) cho  $s$  ta có :

$$0 = \dot{E}_2 + \dot{I}_2\left(\frac{R_2}{s} + jX_2\right) \quad (9.24)$$

Các thông số  $E_2$ ,  $X_2$  trong (9.24) là sdd rôto, điện kháng rôto lúc không quay, ứng với tần số dòng điện rôto bằng  $f$ .

Phương trình (9.24) là phương trình điện áp rôto quay, đã được qui đổi về rôto đứng yên. Có thể gọi đó là phương trình điện áp rôto qui đổi về tần số stato.

Nhân phương trình (9.24) với  $k_e$ , chia và nhân với  $k_i$  ta có :

$$0 = k_e \dot{E}_2 + \frac{\dot{I}_2}{k_i} \left( \frac{R_2}{s} k_e k_i + jX_2 k_e k_i \right) \quad (9.25)$$

trong đó  $k_e$ ,  $k_i$  là hệ số qui đổi sức điện động (9.16) và hệ số qui đổi dòng điện (9.20).

Gọi  $E'_2 = k_e E_2 = E_1$  là sdd pha rôto qui đổi về stato.

$$\dot{I}'_2 = \frac{\dot{I}_2}{k_i} \text{ là dòng điện rôto qui đổi về stato.}$$

Trong biểu thức  $k_i$  cho thấy, ngoài qui đổi dây quấn còn qui đổi số pha rôto  $m_2$  về bằng số pha stato  $m_1$ .

$R'_2 = R_2 k_e k_i$  là điện trở dây quấn rôto qui đổi về stato

$X'_2 = X_2 k_e k_i$  là điện kháng dây quấn rôto qui đổi về stato

$k_e k_i = k$  là hệ số qui đổi tổng trở.

Phương trình (9.25) trở thành :

$$0 = -\dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 \left( \frac{R'_2}{s} + jX'_2 \right) \quad (9.26)$$

Giống như máy biến áp,  $-\dot{E}_1$  và  $-\dot{E}'_2$  là điện áp rơi trên tổng trở từ hóa :

$$-\dot{E}_1 = -\dot{E}'_2 = \dot{I}_0(R_{th} + jX_{th}) \quad (9.27)$$

Cuối cùng ta có hệ phương trình động cơ điện như sau :

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1(R_1 + jX_1) + \dot{I}_0(R_{th} + jX_{th}) \quad (9.28)$$

$$0 = \dot{I}_0(R_{th} + jX_{th}) - \dot{I}'_2 \left( \frac{R'_2}{s} + jX'_2 \right) \quad (9.29)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_2 \quad (9.30)$$

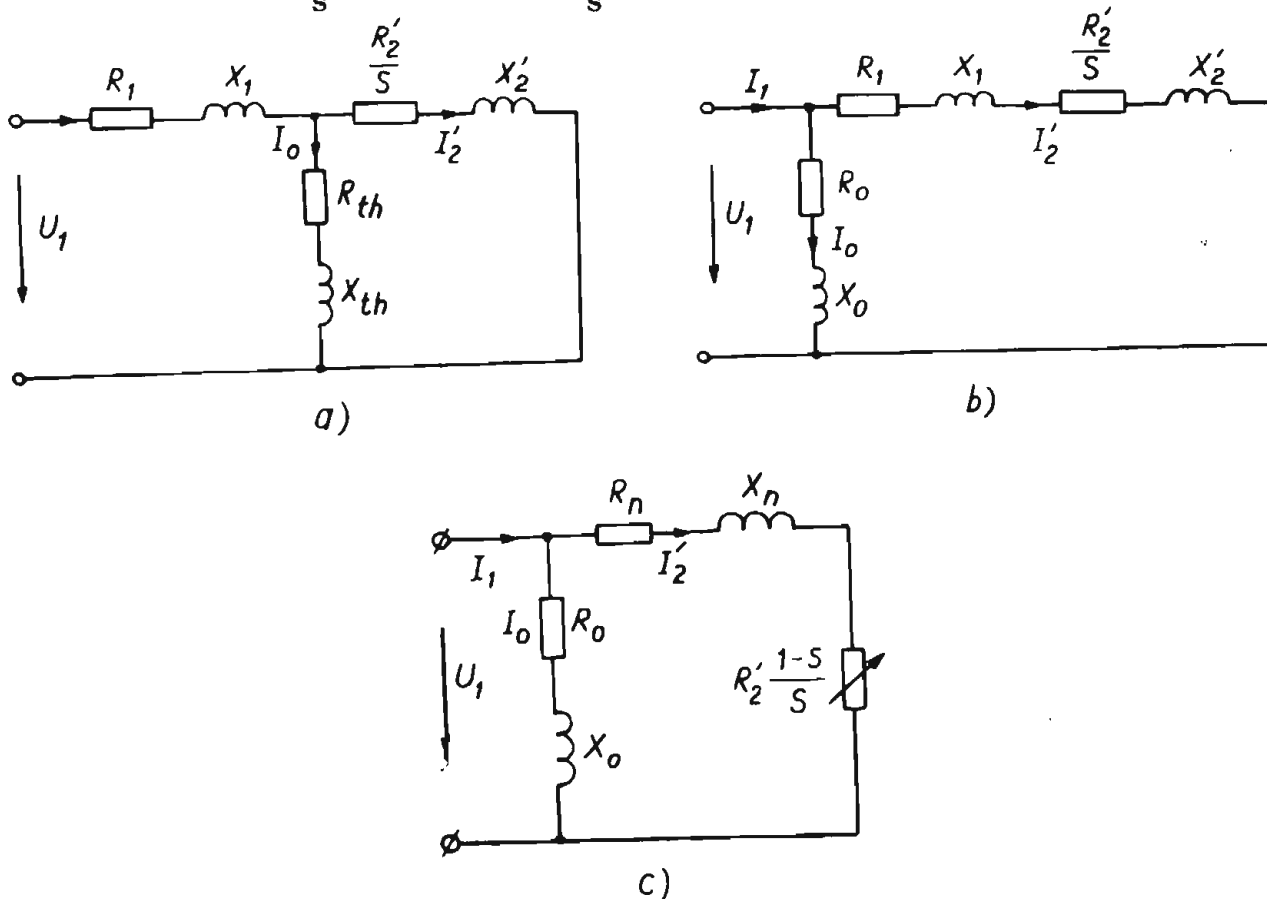
Cũng tương tự như đã nghiên cứu ở máy biến áp hệ phương trình (9.28), (9.29), (9.30) là hệ phương trình Kiếchốp cho mạch điện hình 9.12a. Mạch điện hình 9.12a là sơ đồ thay thế động cơ điện không đồng bộ. Để thuận tiện cho việc tính toán, sơ đồ 9.12a được xem gần đúng tương đương với sơ đồ 9.12b. Sơ đồ 9.12b được sử dụng nhiều trong tính toán động cơ điện không đồng bộ, trong đó

$$R_o = R_1 + R_{th}$$

$$X_o = X_1 + X_{th}$$

Ngoài ra nếu làm phép biến đổi đơn giản

$$\frac{R'_2}{s} = R'_2 + \frac{R'_2(1-s)}{s} \quad (9.31)$$



Hình 9.12.

Sơ đồ thay thế động cơ không đồng bộ có thể vẽ như hình 9.12c.

trong đó  $R_n = R_1 + R'_2$

$$X_n = X_1 + X'_2$$

$R'_2 \frac{(1-s)}{s}$  đặc trưng cho công suất cơ  $P_{cơ}$  của động cơ.

## § 9.7. BIỂU ĐỒ NĂNG LƯỢNG VÀ HIỆU SUẤT CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Động cơ điện không đồng bộ nhận điện năng của lưới điện, nhờ từ trường quay, điện năng đã được biến thành cơ năng.

Đồ thị quá trình năng lượng được vẽ trên hình 9.13, trong đó khi số pha stato  $m_1 = 3$

$P_1$  - công suất điện động cơ tiêu thụ của lưới điện

$$P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi,$$

trong đó  $U_1$ ,  $I_1$  là điện áp pha và dòng điện pha ;

$P_{dt}$  - công suất điện từ :

$$P_{dt} = 3I_2'^2 \frac{R'_2}{s} = m_2 I_2'^2 \frac{R_2}{s} \quad (9.32)$$

$P_{cơ}$  - công suất cơ trên trục :

$$P_{cơ} = 3I_2'^2 R'_2 \frac{1-s}{s} = m_2 I_2'^2 R_2 \frac{1-s}{s} \quad (9.33)$$

$P_2$  - công suất cơ hữu ích trên trục động cơ :

$$P_2 = P_{cơ} - \Delta P_{cf}$$

Hiệu suất của động cơ điện :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$$

$\Delta P$  là tổng các công suất tổn hao trong máy :

$$\Delta P = \Delta P_{stl} + \Delta P_{d1} + \Delta P_{d2} + \Delta P_{cf}$$

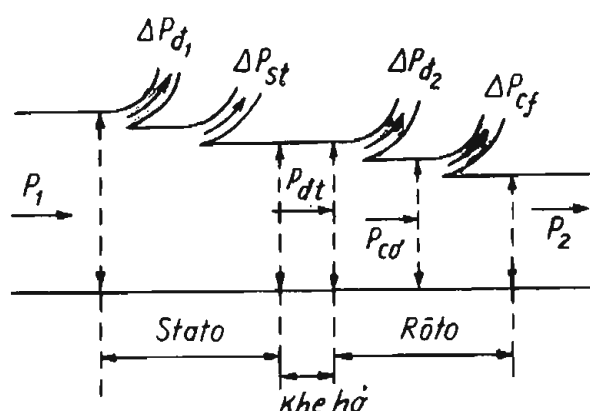
$\Delta P_{stl}$  : tổn hao sắt từ trong lõi thép stato do dòng điện xoáy và từ trễ

$\Delta P_{d1}$  : tổn hao trên điện trở dây quấn stato

$$\Delta P_{d1} = 3R_1 I_1^2$$

$\Delta P_{d2}$  : tổn hao trên điện trở dây quấn rôto

$$\Delta P_{d2} = 3R'_2 I_2'^2 = m_2 R_2 I_2'^2$$



Hình 9.13.

$\Delta P_{cf}$  : tổn hao cơ do ma sát ổ trục, quạt gió và tổn hao phụ.

Tổn hao sắt từ trong lõi thép rôto nhỏ (có thể bỏ qua) vì tần số dòng điện rôto nhỏ.

Thông thường người ta xác định gần đúng hiệu suất như sau :

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_o + k_t^2 P_n} \quad (9.34)$$

trong đó :  $k_t = \frac{I_1}{I_{ldm}}$  hệ số tải

$P_o = \Delta P_{st} + \Delta P_{cf}$  tổn hao không tải

$P_n$  là tổng tổn hao trên điện trở dây quấn stato và rôto khi dòng điện bằng định mức.

Hiệu suất định mức của động cơ không đồng bộ khoảng  $0,75 \div 0,95$ .

## § 9.8. MÔMEN QUAY CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Ở chế độ động cơ điện, mômen điện từ đóng vai trò mômen quay, được tính là :

$$M = M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} \quad (9.35)$$

-  $P_{dt}$  là công suất điện từ được tính theo (9.32)

$$P_{dt} = 3I_2'^2 \frac{R_2'}{s} \quad (9.36)$$

-  $\omega_1$  là tần số góc của từ trường quay :

$$\omega_1 = \frac{\omega}{p} \quad (9.37)$$

$\omega$  là tần số góc dòng điện stato

$p$  là số đôi cực từ.

Dựa vào sơ đồ gần đúng (9.12b), dòng điện  $I_2'$  được tính là :

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (9.38)$$

Thay (9.38), (9.36) vào (9.35) cuối cùng ta có :

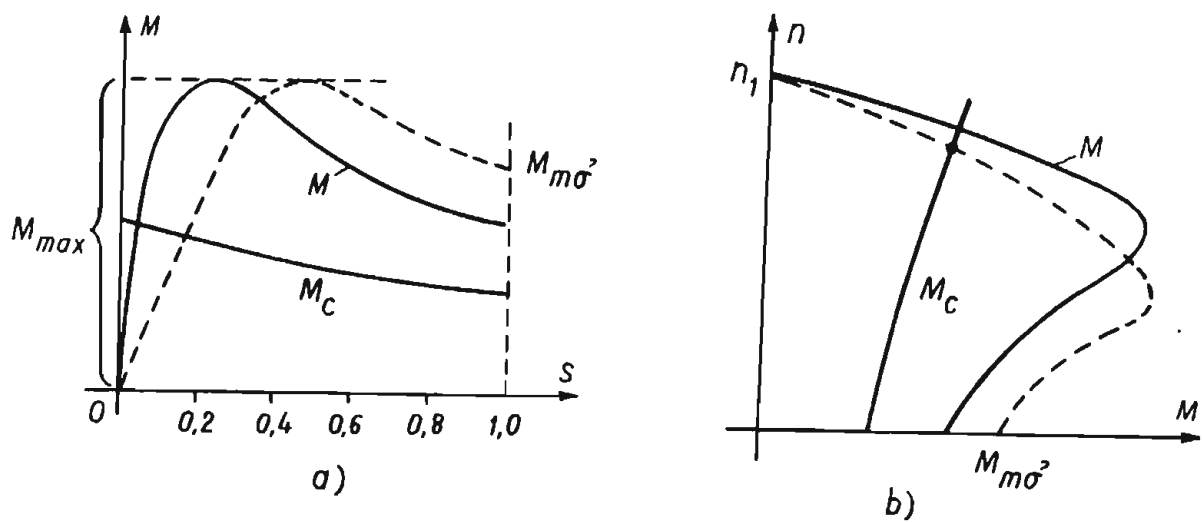
$$M = \frac{3pU_1^2 R_2'}{s\omega \left[ \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]} \quad (9.39)$$

Trên hình 9.14a vẽ quan hệ mômen theo hệ số trượt

$$M = f(s).$$



Nếu thay  $s = \frac{n_1 - n}{n}$  ta sẽ có quan hệ  $n = f(M)$ , đó là đường đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ (hình 9.14b).



Hình 9.14.

**Động cơ sẽ làm việc ở điểm mômen quay bằng mômen cản  $M_c$ .**

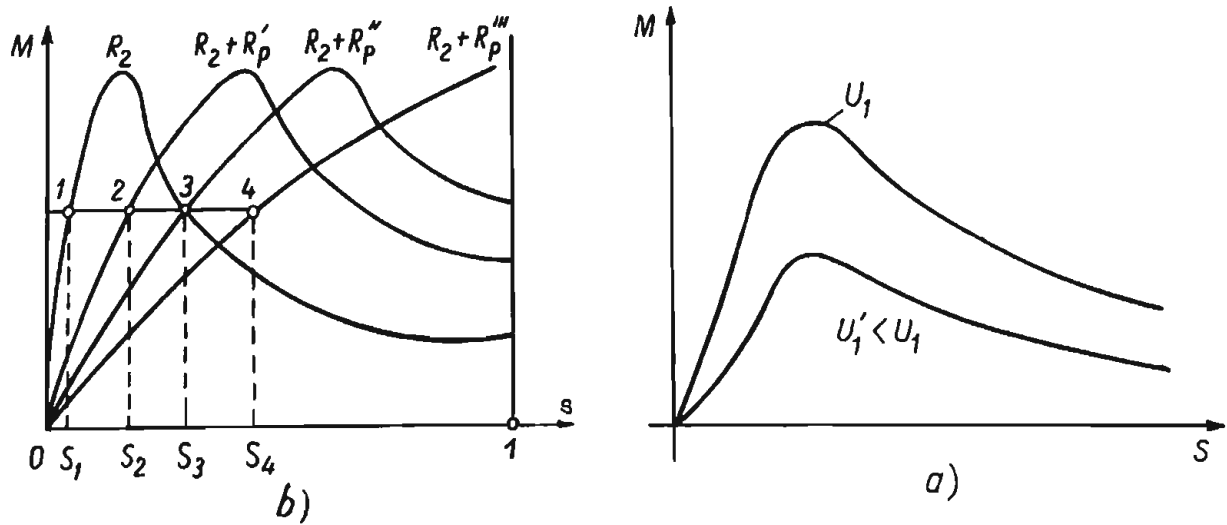
Các đặc điểm của mômen quay động cơ không đồng bộ :

a) **Mômen tỷ lệ với bình phương điện áp.** nếu điện áp đặt vào động cơ thay đổi, mômen động cơ thay đổi rất nhiều. Trên hình 9.15a vẽ đường  $M = f(s)$  với các điện áp khác nhau :  $U'_1 < U_1$ .

b) Mômen có trị số cực đại  $M_{max}$  ứng với giá trị tới hạn  $s_{th}$  làm cho đạo hàm  $\frac{\partial M}{\partial s} = 0$ . Sau khi đạo hàm, ta tính được trị số  $s_{th}$  và  $M_{max}$  là :

$$s_{th} = \frac{R'_2}{R_1 + X_1 + X'_2} \approx \frac{R'_2}{X_1 + X'_2} \tag{9.40}$$

$$M_{max} = \frac{3pU_1^2}{2\omega \left[ R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right]} \approx \frac{3pU_1^2}{2\omega(R_1 + X_1 + X'_2)} \tag{9.41}$$



Hình 9.15.

Hệ số trượt tới hạn  $s_{th}$  tỷ lệ thuận với điện trở rôto, còn  $M_{max}$  không phụ thuộc vào điện trở rôto, khi cho thêm điện trở phụ  $R_p$  vào rôto, đường đặc tính  $M = f(s)$  thay đổi như hình 9.15b. Tính chất này được sử dụng để điều chỉnh tốc độ và mô-men máy động cơ rôto dây quấn.

Quan hệ giữa  $M$ ,  $M_{max}$  và  $s_{th}$  có thể viết gần đúng như sau :

$$M = \frac{2M_{max}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (9.42)$$

Thay  $s = 1$  vào biểu thức (9.39), mô-men mở máy động cơ là :

$$M_{mở} = \frac{3pU_1^2 R'_2}{\omega [(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2]} \quad (9.43)$$

Đối với động cơ lồng sóc thường cho các tỷ số sau :

$$\frac{M_{mở}}{M_{dm}} = 1,1 \div 1,7 ; \quad \frac{M_{max}}{M_{dm}} = 1,6 \div 2,5.$$

## § 9.9. MÔ MÁY ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BA PHA

Động cơ không đồng bộ ba pha có mô-men mở máy. Để mở máy được, mô-men mở máy động cơ phải lớn hơn mô-men cản của tải lúc mở máy, đồng thời mô-men động cơ phải đủ lớn để thời gian mở máy trong phạm vi cho phép.

Khi mở máy, hệ số trượt  $s=1$ , theo sơ đồ thay thế gần đúng, dòng điện pha lúc mở máy :

$$I_{pmở} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$

Dòng điện mở máy lớn bằng 5 ÷ 7 lần dòng điện định mức. Đối với lưới điện công suất nhỏ sẽ làm cho điện áp mạng điện tụt xuống, ảnh hưởng đến sự làm việc của các thiết bị khác. Vì thế ta cần có các biện pháp giảm dòng điện mở máy.

### 9.9.1. Mở máy động cơ rôto dây quấn

Khi mở máy, dây quấn rôto được nối với biến trở mở máy (hình 9.16a). Đầu tiên để biến trở lớn nhất, sau đó giảm dần đến không. Đường đặc tính mô-men ứng với các giá trị  $R_{mở}$  vẽ trên hình 9.16b.

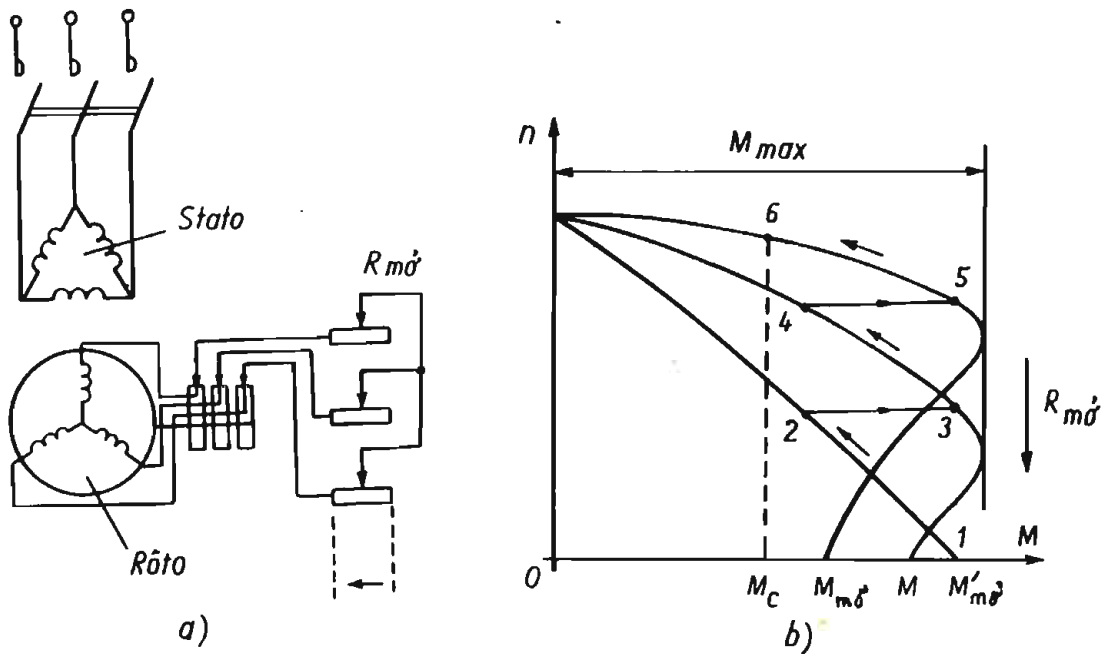
Muốn mô-men mở máy cực đại, hệ số trượt tới hạn phải bằng 1 :

$$s_{th} = \frac{R'_2 + R'_{mở}}{X_1 + X'_2} = 1 \quad (9.44)$$

Từ đó xác định được điện trở  $R_{mở}$  cần thiết.

Khi có  $R_{mở}$  dòng điện mở máy là :

$$I_{pmở} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + R'_{mở})^2 + (X_1 + X'_2)^2}}$$



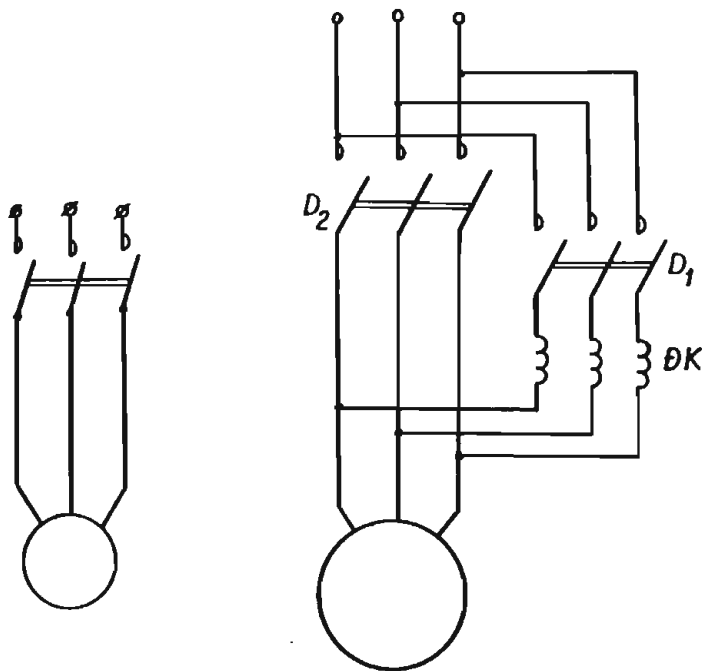
Hình 9.16.

Nhờ có  $R_{mở}$  dòng điện mở máy giảm xuống.  
 Như vậy, có  $R_{mở}$  mômen mở máy tăng, dòng điện mở máy giảm, đó là ưu điểm lớn của động cơ rôto dây quấn.

### 9.9.2. Mở máy động cơ lồng sóc

- a) *Mở máy trực tiếp.* Đây là phương pháp đơn giản nhất, chỉ việc đóng trực tiếp động cơ điện vào lưới điện (hình 9.17). Khuyết điểm của phương pháp này là dòng điện mở máy lớn, làm tụt điện áp mạng điện rất nhiều, nếu quán tính của máy lớn, thời gian mở máy sẽ rất lâu, có thể làm cháy cầu chì bảo vệ. Vì thế phương pháp này dùng được khi công suất mạng điện (hoặc nguồn điện) lớn hơn công suất động cơ rất nhiều, việc mở máy sẽ rất nhanh và đơn giản.
- b) *Giảm điện áp stato khi mở máy*

Khi ta mở máy giảm điện áp đặt vào động cơ, để giảm dòng điện mở máy. Khuyết điểm của phương



Hình 9.17.

Hình 9.18.

pháp này là mômen mở máy giảm rất nhiều, vì thế nó chỉ sử dụng được đối với trường hợp không yêu cầu mômen mở máy lớn. Có các biện pháp giảm điện áp như sau :

- Dùng điện kháng nối tiếp vào mạch stato.

Điện áp mạng điện đặt vào động cơ qua điện kháng D.K. (hình 9.18). Lúc mở máy, cầu dao  $D_2$  mở, cầu dao  $D_1$  đóng. Khi động cơ đã quay ổn định thì đóng cầu dao 2 để ngắn mạch điện kháng. Nhờ có điện áp rơi trên điện kháng, điện áp trực tiếp đặt vào động cơ giảm đi  $k$  lần. Dòng điện sẽ giảm đi  $k$  lần, song mômen giảm đi  $k^2$  lần (vì mômen tỷ lệ với bình phương điện áp).

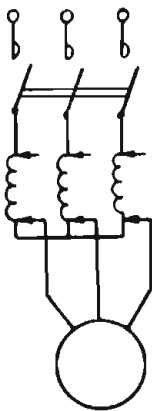
- Dùng máy tự biến áp.

Điện áp mạng điện đặt vào sơ cấp máy tự biến áp (hình 9.19). Điện áp thứ cấp máy tự biến áp đưa vào động cơ. Thay đổi vị trí con chạy để cho lúc mở máy điện áp đặt vào động cơ nhỏ, sau đó dần dần tăng lên bằng định mức. Gọi  $k$  là hệ số biến áp của máy tự biến áp ;  $U_l$  là điện áp pha lưới điện ;  $z_n$  là tổng trở động cơ lúc mở máy. Điện áp pha đặt vào động cơ khi mở máy là :

$$U_{dc} = \frac{U_l}{k} ,$$

dòng điện chạy vào động cơ lúc có máy tự biến áp :

$$I_{dc} = \frac{U_{dc}}{z_n} = \frac{U_l}{kz_n}$$



Hình 9.19.

Dòng điện  $I_l$  lưới điện cung cấp cho động cơ lúc có máy tự biến áp là (dòng điện sơ cấp của máy tự biến áp)

$$I_l = \frac{I_{dc}}{k} = \frac{U_l}{k^2 z_n} \tag{9.45}$$

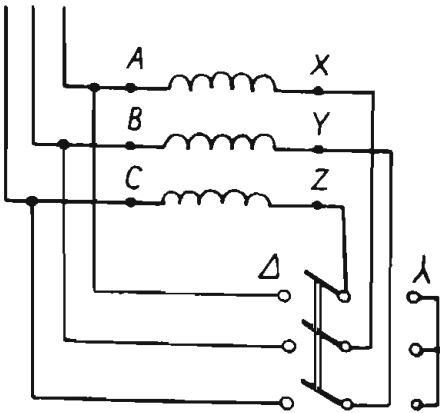
Khi mở máy trực tiếp, dòng điện  $I_l$  bằng :

$$I_l = \frac{U_l}{z_n} \tag{9.46}$$

So sánh (9.45) và (9.46) ta thấy, lúc có máy tự biến áp, dòng điện của lưới điện giảm đi  $k^2$  lần. Đây là một ưu điểm so với phương pháp dùng điện kháng (dòng điện chỉ giảm  $k$  lần). Vì thế phương pháp dùng máy tự biến áp được dùng nhiều đối với động cơ công suất lớn. Điện áp đặt vào động cơ giảm  $k$  lần, nên mômen sẽ giảm  $k^2$  lần.

- Phương pháp đổi nối sao - tam giác.

Phương pháp này chỉ dùng được với những động cơ khi làm việc bình thường dây quấn stato nối hình tam giác.



Hình 9.20.

Khi mở máy ta nối hình sao để điện áp đặt vào mỗi pha giảm  $\sqrt{3}$  lần. Sau khi mở máy ta nối lại thành hình tam giác như đúng qui định của máy. Trên hình 9.20 khi mở máy ta đóng cầu dao sang phía Y, mở máy xong đóng sang phía  $\Delta$ .

Dòng điện dây khi nối hình tam giác :

$$I_{d\Delta} = \frac{\sqrt{3}U_1}{z_n} \quad (9.47)$$

Dòng điện dây khi nối hình sao là :

$$I_{dY} = \frac{U_1}{\sqrt{3}z_n} \quad (9.48)$$

So sánh (9.47) và (9.48) ta thấy lúc mở máy kiểu đổi nối sao tam giác dòng điện dây mạng điện giảm đi 3 lần. Cũng như trên, phương pháp này mômen giảm đi  $(\sqrt{3})^2 = 3$  lần.

Qua việc nghiên cứu các phương pháp, chúng ta đều thấy mômen mở máy giảm xuống nhiều. Để khắc phục điều này, người ta đã chế tạo loại động cơ lồng sóc kép và loại rãnh sâu có đặc tính mở máy tốt.

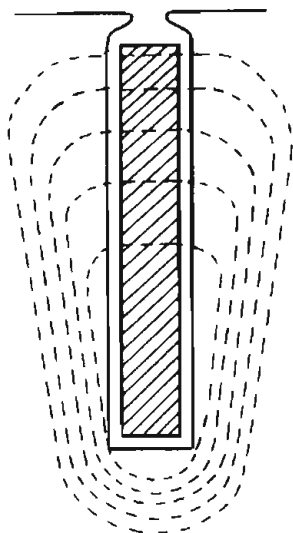
### 9.9.3. Động cơ điện lồng sóc có đặc tính mở máy tốt

Động cơ điện lồng sóc có ưu điểm là cấu tạo và sử dụng đơn giản, có đặc tính làm việc tốt, nhưng đặc tính mở máy không bằng động cơ dây quấn. Để cải tiến đặc tính mở máy động cơ lồng sóc, người ta chế tạo loại động cơ lồng sóc rãnh sâu hoặc hai lồng sóc chúng có đặc tính mở máy tương đối tốt.

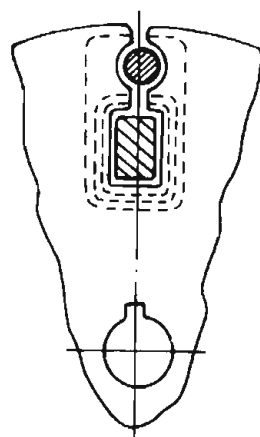
#### a) Động cơ điện lồng sóc rãnh sâu

Loại động cơ này, rãnh rôto hẹp và sâu (chiều sâu bằng  $10 \div 12$  lần chiều rộng rãnh), vẽ trên hình 9.21.

Khi có dòng điện cảm ứng trong thanh dẫn rôto, từ thông tản rôto  $\Phi_{12}$  phân bố như trên hình 9.21. Từ thông tản móc vòng với đoạn dưới thanh dẫn nhiều hơn đoạn trên. Khi mở máy, rôto chưa quay, dòng điện rôto có tần số lớn bằng tần số stato  $f$ . Điện kháng tản rôto sẽ lớn hơn điện trở, và có tác dụng quyết định đến sự phân bố dòng điện rôto. Lúc mở máy điện kháng tản phía dưới lớn, dòng điện tập trung phía trên thanh dẫn gần miệng rãnh. Do sự phân bố dòng điện tập trung nhiều ở phía miệng rãnh, tiết diện dẫn điện của thanh coi như bị nhỏ đi, điện trở rôto  $R_2$  tăng lên sẽ làm tăng mômen mở máy. Khi mở máy xong, tần số dòng điện rôto nhỏ, tác dụng trên bị yếu đi, điện trở rôto giảm xuống như bình thường.



Hình 9.21.



Hình 9.22.

### b) Động cơ điện lồng sóc kép

Rôto của động cơ có hai lồng sóc (hình 9.22), các thanh dẫn của lồng sóc ngoài (còn gọi là lồng sóc mở máy) có tiết diện nhỏ và điện trở suất lớn. Lồng sóc trong có tiết diện lớn điện trở nhỏ.

Như ở trên, khi mở máy dòng điện tập trung ở lồng sóc ngoài có điện trở  $R_2$  lớn, mômen mở máy lớn. Khi làm việc bình thường, dòng điện lại phân bố đều ở cả hai lồng sóc, điện trở  $R_2$  nhỏ xuống.

Động cơ điện rãnh sâu và lồng sóc kép có đặc tính mở máy tốt, nhưng vì từ thông tản lớn, nên  $\cos\varphi$  thấp hơn động cơ lồng sóc thông thường.

## § 9.10. ĐIỀU CHỈNH TỐC ĐỘ ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Tốc độ của động cơ điện không đồng bộ là :

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s) \text{ vg/ph}$$

Nhìn vào biểu thức ấy ta thấy :

Với động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc có thể điều chỉnh tốc độ động cơ bằng cách thay đổi tần số dòng điện stato, bằng cách đổi nối dây quấn stato để thay đổi số đôi cực từ  $p$  của từ trường, hoặc thay đổi điện áp đặt vào stato để thay đổi hệ số trượt  $s$ . Tất cả các phương pháp đều thực hiện ở phía stato. Đối với động cơ rôto dây quấn thường điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở rôto để thay đổi hệ số trượt  $s$ , việc điều chỉnh thực hiện ở phía rôto.

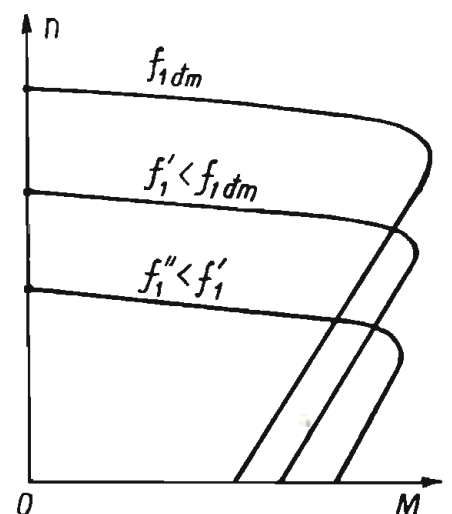
### 9.10.1. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số

Việc thay đổi tần số  $f$  của dòng điện stato thực hiện bằng bộ biến đổi tần số.

Như đã biết ở biểu thức (9.10) từ thông  $\Phi_{\max}$  tỷ lệ thuận với tỷ số  $U_1/f$ , khi thay đổi tần số người ta mong muốn giữ cho từ thông  $\Phi_{\max}$  không đổi, để mạch từ máy ở tình trạng định mức. Muốn vậy phải điều chỉnh đồng thời tần số và điện áp, giữ cho tỷ số giữa điện áp  $U_1$  và tần số  $f$  không đổi.

Hình 9.23 vẽ họ đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số  $U_1/f$  không đổi.

Việc điều chỉnh tốc độ quay bằng thay đổi tần số thích hợp khi điều chỉnh cả nhóm động cơ lồng sóc. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số cho phép điều chỉnh tốc độ một cách bằng phẳng trong phạm vi rộng, song giá thành còn khá lớn.

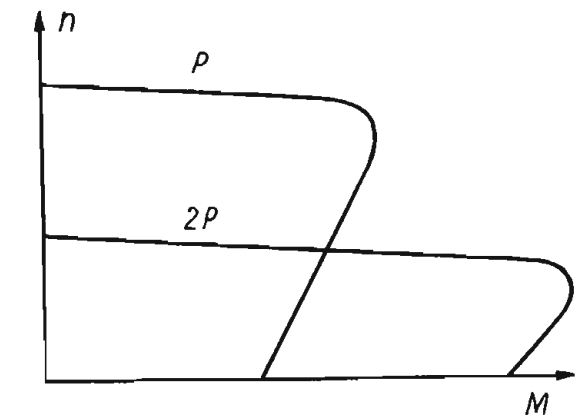


Hình 9.23.

9.10.2. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực

Số đôi cực của từ trường quay phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn. Hình 9.6, 9.7 vẽ cấu tạo dây quấn của một pha stato, ứng với từ trường có  $p = 1$  và  $p = 2$ . Động cơ không đồng bộ có cấu tạo dây quấn để thay đổi số đôi cực từ được gọi là động cơ không đồng bộ nhiều cấp tốc độ. Phương pháp này chỉ sử dụng cho loại rôto lồng sóc.

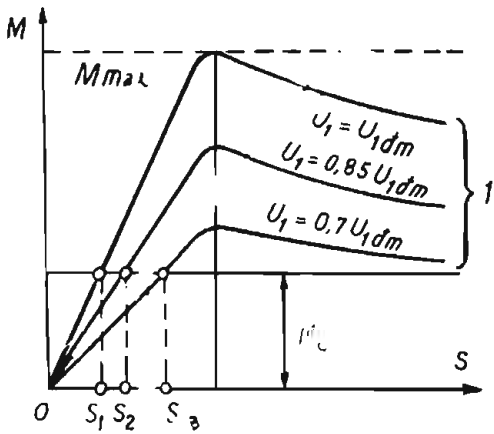
Mặc dù điều chỉnh tốc độ nhảy cấp, nhưng có ưu điểm là giữ nguyên độ cứng của đặc tính cơ (hình 9.24), động cơ nhiều cấp tốc độ được sử dụng rộng rãi trong các máy luyện kim, máy tàu thủy v.v.



Hình 9.24.

9.10.3. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp cung cấp cho stato

Phương pháp này chỉ được thực hiện việc giảm điện áp. Khi giảm điện áp đường đặc tính  $M = f(s)$  sẽ thay đổi (hình 9.25) do đó hệ số trượt thay đổi, tốc độ động cơ thay đổi. Hệ số trượt  $s_1, s_2, s_3$  ứng với điện áp  $U_{ldm}, 0,85 U_{ldm}$  và  $0,7 U_{ldm}$ .



Hình 9.25.

Nhược điểm của phương pháp điều chỉnh tốc độ quay bằng điện áp là giảm khả năng quá tải của động cơ, dải điều chỉnh tốc độ hẹp, tăng tổn hao ở dây quấn rôto  $\Delta P_{dr} = sP_{dt} = sM\omega_1$ . Việc điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp được dùng chủ yếu với các động cơ công suất nhỏ có hệ số trượt tới hạn  $s_{th}$  lớn.

9.10.4. Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở mạch rôto của động cơ rôto dây quấn

Thay đổi điện trở dây quấn rôto, bằng cách mắc biến trở ba pha vào mạch rôto như hình 9.16a.

Biến trở điều chỉnh tốc độ phải làm việc lâu dài nên có kích thước lớn hơn so với biến trở mở máy. Họ đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ rôto dây quấn khi có biến trở điều chỉnh tốc độ vẽ trên hình 9.16b. Ta thấy rằng khi tăng điện trở, tốc độ quay của động cơ giảm.

Nếu mômen cản không đổi, dòng rôto không đổi, khi tăng điện trở để giảm tốc độ, sẽ tăng tổn hao công suất trong biến trở, do đó phương pháp này không kinh tế. Tuy nhiên phương pháp đơn giản, điều chỉnh trơn và khoảng điều chỉnh tương đối rộng, được sử dụng điều chỉnh tốc độ quay của động cơ công suất cỡ trung bình.

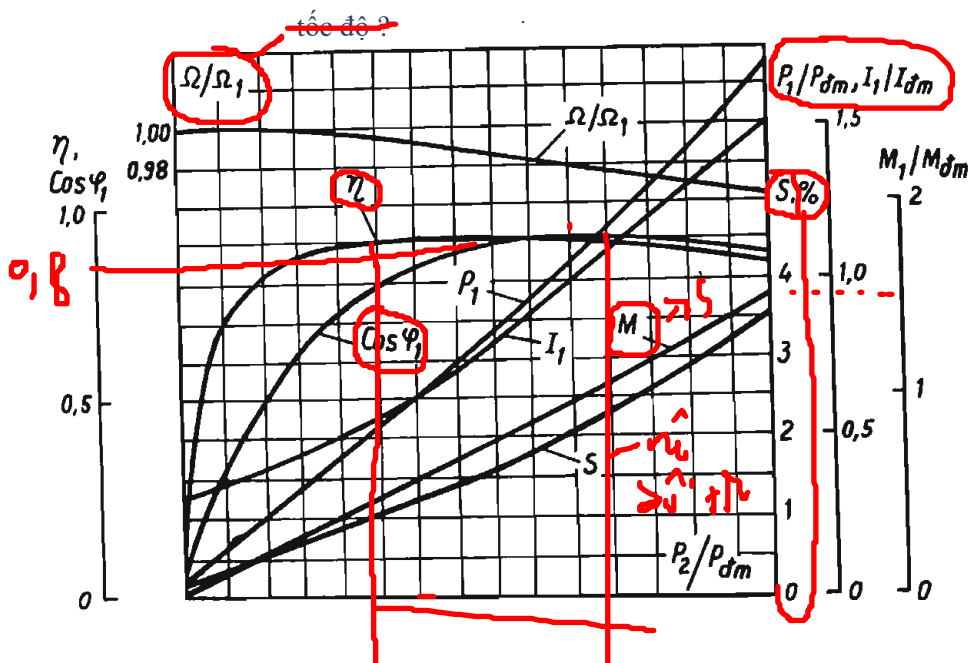


~~Đây là một nhược điểm của động cơ không đồng bộ.~~

## § 9.11. CÁC ĐẶC TÍNH LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Ở chế độ làm việc định mức, động cơ không đồng bộ có các đại lượng định mức sau : công suất cơ hữu ích trên trục định mức  $P_{dm}$ , điện áp dây định mức  $U_{dm}$ , dòng điện dây định mức  $I_{dm}$ , tốc độ quay định mức  $n_{dm}$ , hệ số công suất định mức  $\cos\varphi_{dm}$  và hiệu suất định mức  $\eta_{dm}$ .

Song các đại lượng định mức chưa cho đầy đủ tất cả các đặc tính khi tải khác định mức, vì thế cần biết những đặc tính làm việc của động cơ không đồng bộ, đó là các quan hệ giữa tốc độ quay rôto  $n$ , hệ số  $\cos\varphi$ , hiệu suất  $\eta$ , mômen quay  $M$ , và dòng điện stato  $I_1$  với công suất cơ hữu ích trên trục  $P_2$ , khi điện áp  $U$  và tần số  $f$  ở stato không đổi. Trên hình 9.26 vẽ các đặc tính làm việc, trong đó hiệu suất  $\eta$ ,  $\cos\varphi$  là các chỉ tiêu kinh tế, vì hiệu suất cao tổn hao công suất trong máy nhỏ,  $\cos\varphi$  cao sẽ giảm được tổn hao điện năng trên đường dây của mạng điện, các đặc tính khác là các chỉ tiêu kỹ thuật.



**Hình 9.28.**

### 9.11.1. Tốc độ quay $n = f(P_2)$

Tốc độ của động cơ có quan hệ với hệ số trượt  $s$  theo biểu thức

$$n = \frac{60f}{p} (1 - s) \quad (9.49)$$

Khi tải tăng, công suất  $P_2$  trên trục động cơ tăng, mômen cản tăng lên, từ đường đặc tính mômen ta thấy hệ số trượt  $s$  tăng lên, và tốc độ động cơ giảm xuống.

### 9.11.2. Hiệu suất $\eta = f(P_2)$

Hiệu suất của động cơ được tính như sau :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \quad (9.50)$$



$P_2$  là công suất cơ hữu ích trên trục động cơ. Động cơ không đồng bộ thường được thiết kế sao cho hiệu suất cực đại khi hệ số tải  $k_t = \frac{P_2}{P_{2dm}} \approx 0,7$ . Trong khoảng  $k_t = 0,5 \div 1$  hiệu suất hầu như không đổi. Hiệu suất động cơ công nghiệp vào khoảng  $0,75 \div 0,95$ .

### 9.11.3. Hệ số công suất $\cos\varphi = f(P_2)$

Hệ số công suất của động cơ điện không đồng bộ là tỷ số giữa công suất tác dụng  $P_1$  với công suất toàn phần  $S$

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} \quad (7.51)$$

trong đó  $P_1$  là công suất tác dụng (điện) động cơ tiêu thụ để biến đổi sang công suất cơ  $P_2$ .

$Q_1$  là công suất phản kháng mà động cơ tiêu thụ để tạo ra từ trường cho máy.

Khi máy quay không tải (không kéo tải), công suất  $P_1$  nhỏ, do đó  $\cos\varphi_0$  thấp, bằng từ  $0,2 \div 0,3$ .

Khi tải tăng, công suất  $P_1$  tăng và  $\cos\varphi$  được tăng lên đạt đến giá trị định mức  $\cos\varphi_{dm} = 0,8 \div 0,9$ ; khi quá tải dòng điện vượt định mức, từ thông tản tăng,  $Q_1$  tăng; do đó  $\cos\varphi$  lại giảm xuống.

Từ đặc tính  $\cos\varphi$  ta thấy, không nên cho máy làm việc không tải hoặc non tải.

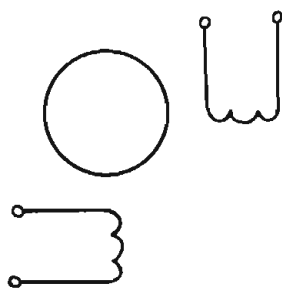
Ngoài ra khi công suất  $P_2$  tăng, mômen  $M$  và dòng điện  $I_1$  đều tăng. Các quan hệ này được vẽ trên hình 9.26.

## § 9.12. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ HAI PHA

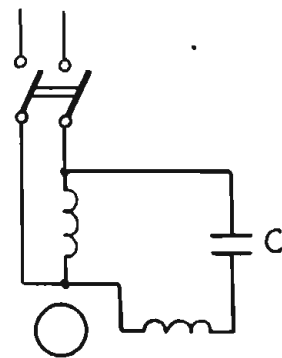
Ở động cơ điện không đồng bộ hai pha, rôto kiểu lồng sóc, stato có dây quấn hai pha, lệch nhau về không gian một góc  $90^\circ$  điện. Khi dòng điện trong hai dây quấn có biên độ bằng nhau và lệch pha nhau một góc pha  $90^\circ$ , sẽ tạo ra trong máy từ trường quay tròn với tần số quay là  $n_1 = 60 f/p$ ; trong đó  $f$  là tần số dòng điện stato,  $p$  là số đôi cực của máy (hình 9.27). Nguyên lý làm việc và đặc tính động cơ hai pha như động cơ ba pha đã xét ở trên.

### 9.12.1. Động cơ tự điện

Đối với động cơ tự điện, để tạo ra sự lệch pha về thời gian giữa dòng điện trong hai dây quấn, người ta nối tiếp với một dây quấn (ví dụ pha B) một



Hình 9.27.



Hình 9.28.

điện dung C. Hai dây quấn được nối song song với nhau và nối vào lưới điện một pha (hình 9.28). Việc phối hợp các trị số điện dung C, và số vòng dây các dây quấn phụ hợp sẽ có được từ trường quay tròn (hoặc gần tròn) máy sẽ có các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật tốt. Loại động cơ này được sử dụng nhiều trong dân dụng (quạt điện) hoặc trong các thiết bị của hệ thống tự động v.v...

9.12.2. Động cơ điều khiển hai pha

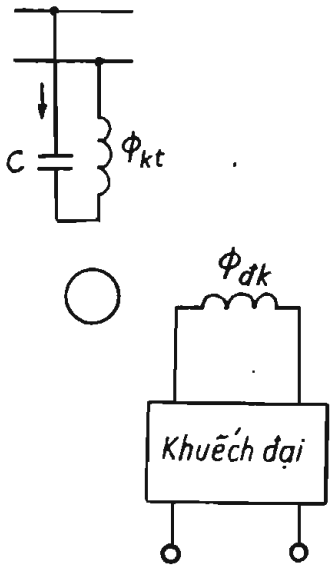
Stato có dây quấn hai pha, dây quấn nối với tụ điện C gọi là dây quấn kích thích, dây quấn nối với bộ điều chỉnh pha (hoặc biên độ) điện áp gọi là dây quấn điều khiển (hình 9.29). Rôto lồng sóc có điện trở lớn.

Điều chỉnh dòng điện trong dây quấn điều khiển (biên độ hoặc pha) ta sẽ có đường đặc tính cơ theo yêu cầu của điều khiển truyền động. Công suất của loại động cơ này thường từ vài W đến vài chục W.

Trong trường hợp hai dây quấn stato lệch pha về không gian một góc  $\theta$  và dòng điện trong hai dây quấn lệch pha về thời gian một góc  $\beta$ , nối chung từ trường không tròn, và biểu thức mômen quay sẽ là :

$$M = kI_A I_B \sin\theta \sin\beta \tag{9.52}$$

trong đó k là hệ số tỷ lệ.



Hình 9.29.

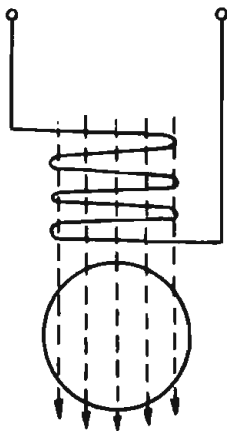
§ 9.13. ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ MỘT PHA

Về cấu tạo, stato động cơ một pha chỉ có dây quấn một pha, rôto thường là lồng sóc (hình 9.30). Dây quấn stato được nối với lưới điện xoay chiều một pha.

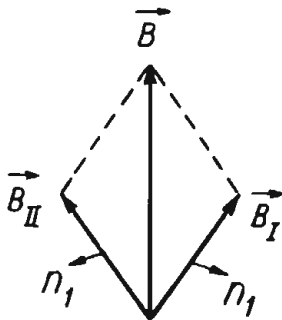
Dòng điện xoay chiều chạy vào dây quấn stato không tạo ra từ trường quay. Do sự biến thiên của dòng điện, chiều và trị số từ trường thay đổi, nhưng phương của từ trường cố định trong không gian. Từ trường này gọi là từ trường đập mạch.

Vì không phải là từ trường quay, nên khi ta cho điện vào dây quấn stato, động cơ không tự quay được. Để cho động cơ điện làm việc được, trước hết ta phải quay rôto của động cơ điện theo một chiều nào đó, rôto sẽ tiếp tục quay theo chiều ấy và động cơ làm việc.

Để giải thích rõ hiện tượng xảy ra trong động cơ điện một pha, ta phân tích từ trường đập mạch thành hai từ trường quay, quay ngược chiều nhau cùng tần số quay  $n_1$ , và biên độ bằng một nửa biên độ từ trường đập mạch.



Hình 9.30.



Hình 9.31.

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (9.53)$$

$$B_{\max I} = B_{\max II} = \frac{B_{\max}}{2} \quad (9.54)$$

trong đó từ trường quay  $\vec{B}_I$  có chiều quay trùng với chiều quay rôto, được gọi là từ trường quay thuận, còn từ trường quay  $\vec{B}_{II}$  có chiều quay ngược chiều quay rôto gọi là từ trường quay ngược. Trên hình 9.31,  $\vec{B}$  là từ trường đập mạch, còn  $\vec{B}_I$  và  $\vec{B}_{II}$  quay với tốc độ  $n_1$  và bao giờ ta cũng có :

$$\vec{B} = \vec{B}_I + \vec{B}_{II} \quad (9.55)$$

Gọi  $n$  là tốc độ rôto, hệ số trượt đối với từ trường quay thuận là :

$$s_I = \frac{n_1 - n}{n} = s \quad (9.56)$$

Hệ số trượt  $s_{II}$  ứng với từ trường quay ngược :

$$s_{II} = \frac{n_1 + n}{n} = \frac{n_1 + (1 - s_I)n_1}{n_1} = 2 - s_I = 2 - s \quad (9.57)$$

Do đó ta có bảng sau về quan hệ giữa các hệ số trượt

$s = s_I :$	0	1	2
$s_{II}$	2	1	0

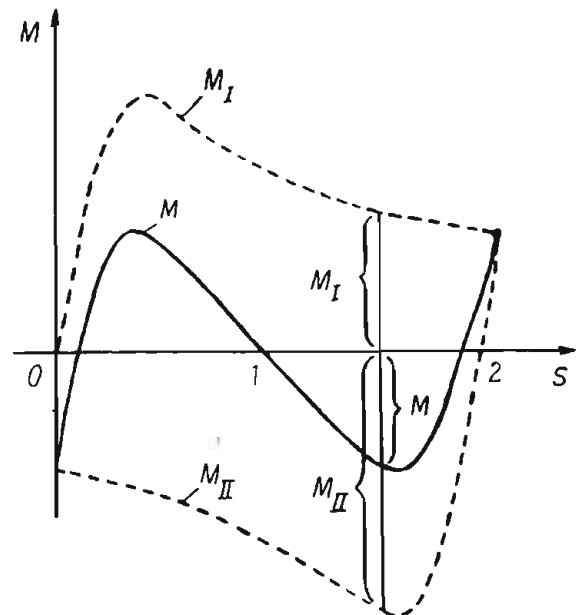
Trên hình 9.32 vẽ mômen quay  $M_I$  do từ trường thuận sinh ra có trị số dương và  $M_{II}$  do từ trường ngược gây ra có trị số âm. Mômen quay của động cơ là tổng đại số mômen  $M_I$  và  $M_{II}$  :

$$M = M_I - M_{II} \quad (9.58)$$

Từ đường đặc tính mômen, chúng ta thấy rằng, lúc mở máy,  $s = s_I = s_{II} = 1$ ,  $M_I = M_{II}$  và mômen mở máy  $M_{\text{mở}} = 0$ , động cơ điện không tự mở máy được. Nhưng nếu ta tác động làm cho động cơ quay, hệ số trượt  $s < 1$ , lúc đó động cơ có mômen  $M$ , sẽ tiếp tục quay. Vì thế ta phải có biện pháp mở máy, nghĩa là phải tạo cho động cơ một pha mômen mở máy. Ta thường dùng các phương pháp dây quấn phụ, vòng ngắn mạch ở cực từ.

### 9.13.1. Dùng dây quấn phụ mở máy

Ở loại động cơ này, ngoài dây quấn chính, còn có dây quấn phụ. Dây quấn phụ có thể thiết kế để làm việc khi mở máy, hoặc làm việc lâu dài (động cơ hai pha). Dây quấn phụ đặt trong một số rãnh stato, sao cho sinh ra một từ thông lệch với từ thông chính một góc  $90^\circ$  không gian, và dòng điện trong dây quấn phụ lệch pha với dòng điện trong dây quấn chính một góc  $90^\circ$ . Dòng điện ở dây quấn phụ và dây quấn chính sinh ra từ trường quay để tạo ra mômen mở máy.



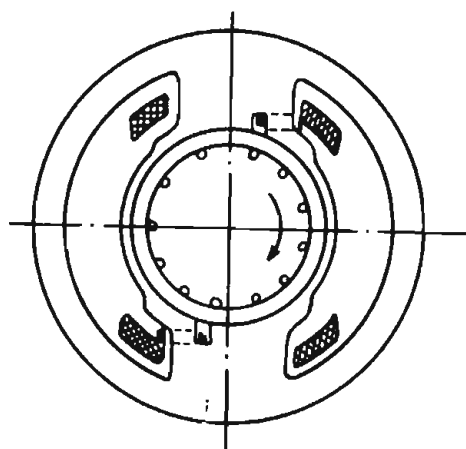
Hình 9.32.

Để dòng điện trong dây quấn phụ lệch pha với dòng điện trong dây quấn chính một góc  $90^\circ$ , ta thường nối tiếp với dây quấn phụ điện dung C (hình 9.33). Loại động cơ tụ điện có đặc tính mở máy tốt.

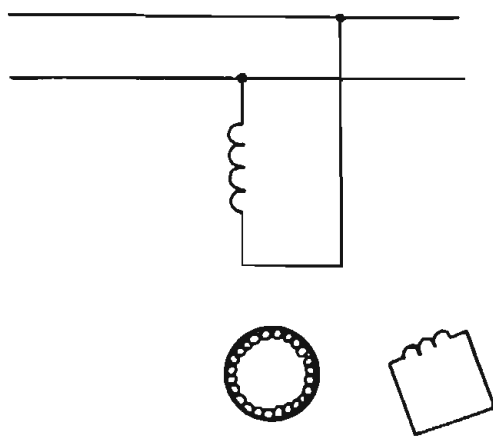
### 9.13.2. Động cơ điện một pha có vòng ngắn mạch ở cực từ

Trên hình 9.34 vẽ cấu tạo loại động cơ này. Người ta chế cực từ ra, cho vào đó một vòng đồng ngắn mạch. Vòng ngắn mạch được coi như dây quấn phụ, trong đó có dòng điện cảm ứng, sơ đồ nguyên lý trên hình 9.35. Tổng hợp hai từ trường của dây quấn chính và phụ sẽ sinh ra từ trường quay để tạo ra mômen mở máy.

Các loại động cơ này chế tạo với công suất nhỏ từ  $0,5 \div 30 \text{ W}$  dùng vào các cơ cấu truyền động tự động, và thường gặp nhất là quạt bàn nhỏ.



Hình 9.34.



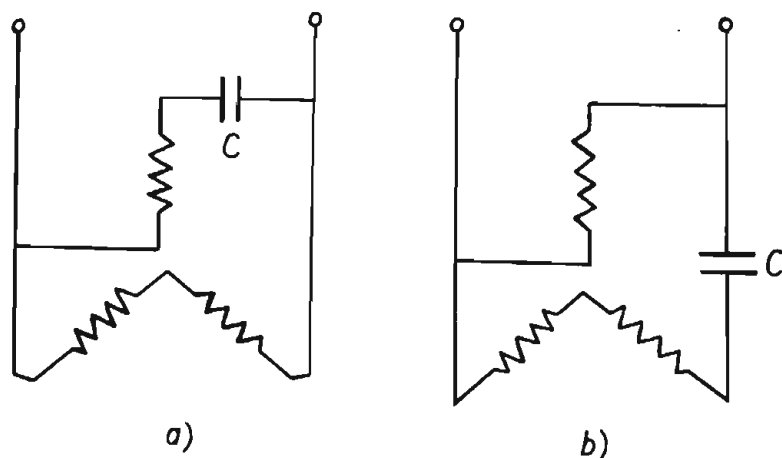
Hình 9.35.

Động cơ điện một pha có các nhược điểm là  $\cos\varphi$  thấp, hiệu suất thấp vì tổn hao ở rôto lớn, mômen nhỏ nên làm việc kém ổn định, khả năng quá tải kém.

Động cơ điện một pha có ưu điểm là cấu tạo gọn, sử dụng lưới điện một pha, nên được sử dụng nhiều trong các hệ tự động và dân dụng (quạt điện, máy giặt, máy bơm nước công suất nhỏ v.v.).

Trong vận hành động cơ ba pha, khi sự cố xảy ra đứt một pha (ví dụ cháy cầu chì pha A) hai pha B và C còn lại sẽ tạo thành dây quấn một pha. Lúc ấy động cơ ba pha sẽ chuyển sang chế độ một pha. Nếu công suất tải của động cơ không đổi thì công suất điện vào động cơ ở hai chế độ ba pha và một pha như nhau  $P_{3p} \approx P_{1p}$

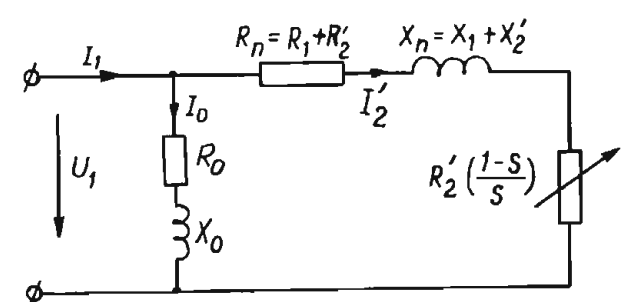
$$\sqrt{3}U_d I_3 \approx U_d I_1,$$

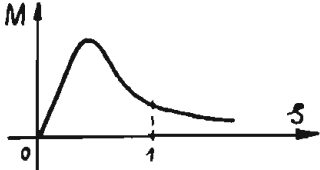


Hình 7.36.

trong đó :  $I_3$  dòng điện stato ở chế độ ba pha  
 $I_1$  dòng điện stato ở chế độ một pha, nghĩa là  $I_1 \approx \sqrt{3}I_3$   
 Dòng điện ở chế độ một pha tăng lên  $\sqrt{3}$  lần tổn hao tăng lên 3 lần nếu không cắt động cơ khỏi lưới điện, động cơ sẽ bị hư hỏng do nhiệt độ quá cao.  
 Ngoài ra trong thực tế, khi không có nguồn điện ba pha, động cơ ba pha có thể nối dây quấn stato như hình 9.36a, b để nối vào lưới điện một pha. Nếu chọn trị số điện dung C thích hợp, có thể đạt công suất đến  $70 \div 80\%$  công suất định mức.

Bảng tóm tắt chương 9

Tốc độ từ trường quay $n_1$	$n_1 = \frac{60f}{p} \text{ (vg / ph)}$
Tốc độ rôto $n$	$n = n_1 (1 - s)$
Hệ số trượt $s = 0,02 \div 0,06$	$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$
Tần số dòng điện rôto $f_2$	$f_2 = sf$
Phương trình điện áp stato	$\dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1$
Phương trình dòng điện rôto	$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}}$
Phương trình sức từ động	$\dot{I}_1 + \dot{I}_0 + \dot{I}'_2$
Sơ đồ thay thế gần đúng	$R_n = R_1 + R'_2 \qquad X_n = X_1 + X'_2$
Tính dòng điện theo sơ đồ gần đúng	
Qui đổi dòng điện rôto	$I'_2 = \frac{I_2}{k_i}$
Qui đổi sức điện động rôto	$E'_2 = k_e E_2$
Qui đổi điện trở rôto	$R'_2 = k_e k_i R_2$
Qui đổi điện kháng rôto	$X'_2 = k_e k_i X_2$

Dòng điện dây stato $I_1$	$I_1 = \frac{P_2}{\eta \sqrt{3} U_1 \cos \varphi}$
Công suất tác dụng động cơ tiêu thụ $P_1$	$P_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi$
Công suất phản kháng động cơ tiêu thụ $Q_1$	$Q_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \sin \varphi$
Công suất điện từ $P_{dt}$	$P_{dt} = m_2 R_2 I_{2\frac{1}{s}}^2 = 3 R_2' I_{2\frac{1}{s}}^2$
Hệ số công suất động cơ $\cos \varphi = 0,8 \div 0,9$	$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}$
Hiệu suất động cơ $\eta = 0,75 \div 0,95$	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$
Đường đặc tính mômen $M = f(s)$	
Các biện pháp mở máy $I_{mở} = (5 \div 7) I_{ldm}$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Trực tiếp (lồng sóc P nhỏ)</li> <li>2) Giảm điện áp stato <math>U_1</math> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Điện kháng</li> <li>- Biến áp tự ngẫu</li> <li>- Đổi nối Y - <math>\Delta</math></li> </ul> </li> <li>3) Cho <math>R_{mở}</math> vào rôto dây quấn</li> </ol>
Các biện pháp điều chỉnh tốc độ $n = \frac{60f}{p} (1 - s)$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Thay đổi tần số <math>f</math></li> <li>2) Thay đổi số đôi cực <math>p</math></li> <li>3) Thay đổi điện áp <math>U_1</math></li> <li>4) Cho <math>R_{dc}</math> vào rôto dây quấn</li> </ol>
Các biện pháp mở máy động cơ một pha	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Vòng ngắn mạch cực từ</li> <li>2) Dây quấn phụ có tụ điện mở máy</li> </ol>
Động cơ tụ điện	Có hai dây quấn trong đó một dây quấn có tụ điện làm việc.

### CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 9

1. Cấu tạo của máy điện không đồng bộ ba pha, hai pha, một pha, phân biệt vai trò và công dụng của rôto lồng sóc và rôto dây quấn.
2. Từ trường trong máy điện không đồng bộ. Nguyên lý làm việc của máy điện không đồng bộ.
3. Mô hình toán học của động cơ không đồng bộ

4. Sơ đồ thay thế của động cơ không đồng bộ. So sánh với sơ đồ thay thế của máy biến áp.
5. Mômen quay và đường đặc tính của động cơ không đồng bộ
6. Mở máy và điều chỉnh tốc độ của động cơ không đồng bộ

### BÀI TẬP CHƯƠNG 9

**Bài số 9.1.**

Trong phân lý thuyết đã vẽ từ trường khi tiếp điểm đóng sang vị trí 1 (hình 9.9, 9.8), từ trường quay cùng chiều kim đồng hồ.

Bây giờ tiếp điểm đóng sang vị trí 2 đối thứ tự 2 pha B và C với nhau. Vẽ từ trường và xác định chiều quay từ trường trong trường hợp này

*Bài giải.*

Khi tiếp điểm đóng sang 2, đã đổi thứ tự hai pha B và C với nhau. Dòng điện  $i_B$  của nguồn đi vào pha CZ của máy, dòng điện  $i_C$  của nguồn đi vào pha BY của máy. Vẽ từ trường ở các thời điểm khác nhau.

a) Thời điểm pha  $\omega t = 90^\circ$

$$i_A = I_{\max} > 0; i_B = -\frac{I_{\max}}{2} < 0; i_C = -\frac{I_{\max}}{2} < 0$$

Chiều dòng điện các dây quấn vẽ trên hình 9.37a.

A	⊗	B	⊙	C	⊙
X	⊙	Y	⊗	Z	⊗

Từ đó vẽ chiều từ trường.

b) Thời điểm pha  $\omega t = 90^\circ + 120^\circ$

$$i_A = -\frac{I_{\max}}{2} < 0; i_B = I_{\max} > 0; i_C = -\frac{I_{\max}}{2} < 0$$

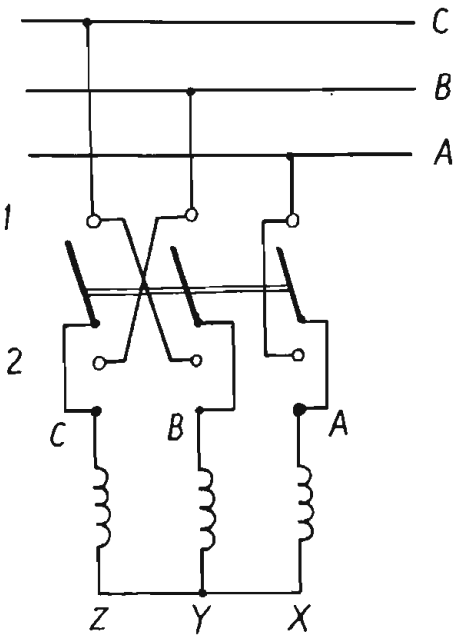
A	⊙	B	⊙	C	⊗
X	⊗	Y	⊗	Z	⊙

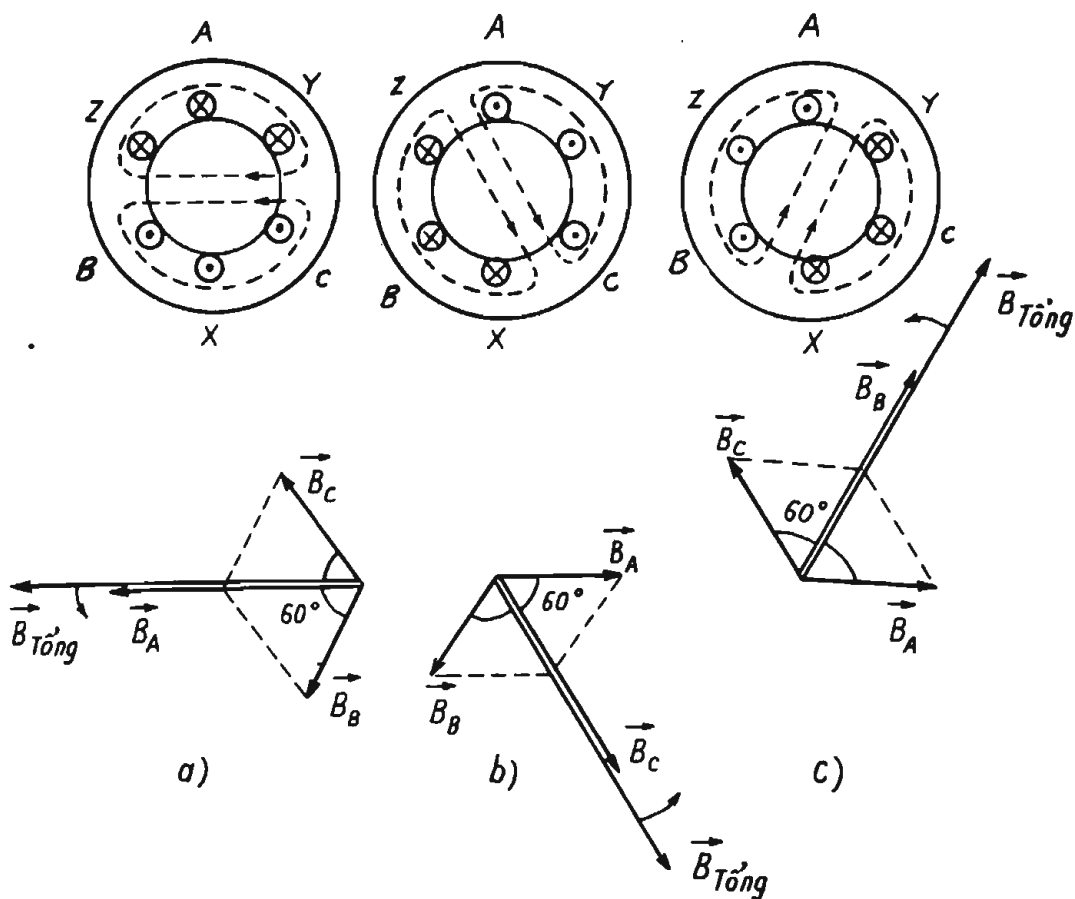
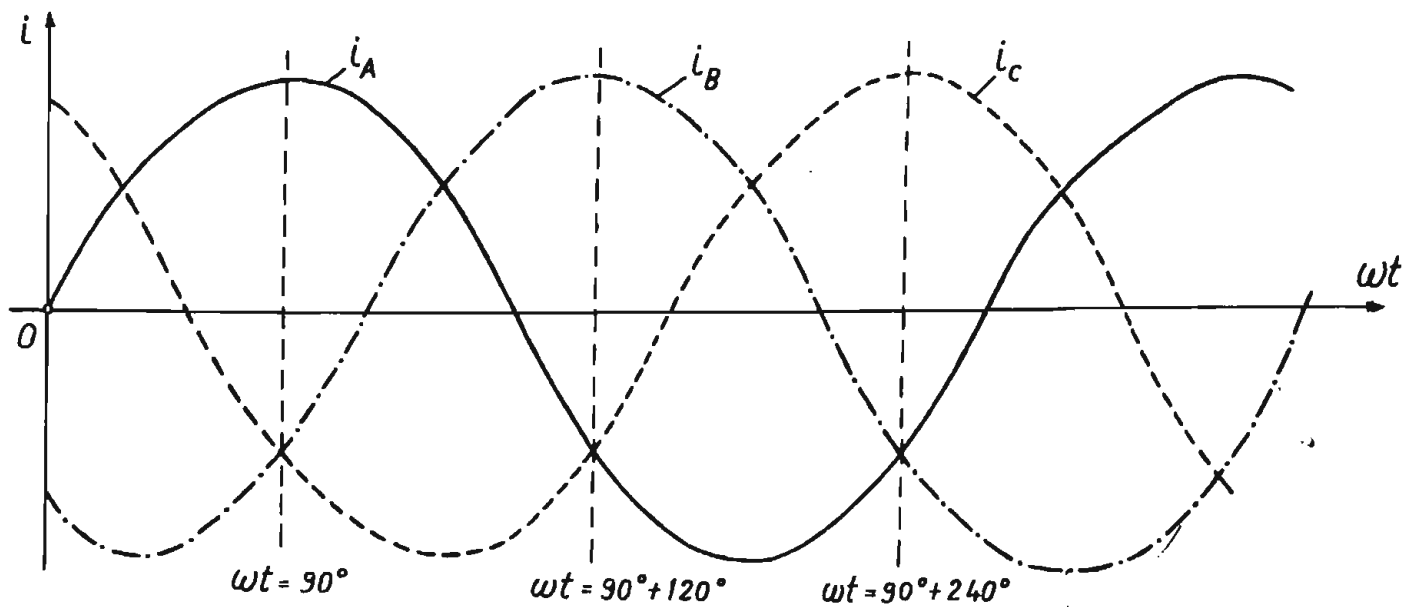
Từ trường vẽ trên hình 9.37b.

c) Thời điểm pha  $\omega t = 90^\circ + 240^\circ$

$$i_A = -\frac{I_{\max}}{2} < 0; i_B = -\frac{I_{\max}}{2} < 0; i_C = I_{\max} > 0$$

A	⊙	B	⊗	C	⊙
X	⊗	Y	⊙	Z	⊗





Hình 9.37.

Từ ba hình a, b, c thấy rằng từ trường quay ngược chiều kim đồng hồ, nghĩa là từ trường đã đổi chiều quay so với khi tiếp điểm đóng sang phía 1 (xem hình 9.8 ; 9.9 lý thuyết).

### Bài số 9.2.

Cho một động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto dây quấn, số vòng dây pha stato  $w_1 = 96$ , rôto  $w_2 = 80$ . Hệ số dây quấn stato  $k_{dq1} = 0,945$ , rôto  $k_{dq2} = 0,96$ . Tần số dòng điện stato  $f = 50$  Hz, từ thông dưới mỗi cực từ  $\Phi_{\max} = 0,02$  Wb,  $n_1 = 1000$  vg/ph.

a) Tính sức điện động pha cảm ứng trong dây quấn stato và rôto lúc quay với tốc độ 950 vg/ph và lúc rôto bị ghìm đứng yên.



b) Tính tần số dòng điện rôto trong hai trường hợp trên.

c) Cho điện trở dây quấn rôto  $R_2 = 0,06 \, \Omega$  và điện kháng dây quấn rôto  $X_2 = 0,1 \, \Omega$ . Tính dòng điện rôto trong hai trường hợp trên.

*Bài giải*

a) Lúc rôto đứng yên, sức điện động cảm ứng :

$$E_1 = 4,44fw_1k_{dq1}\Phi_{\max} = 4,44.50.96.0,945.0,02 = 403 \, \text{V}$$

$$E_2 = 4,44fw_2k_{dq2}\Phi_{\max} = 4,44.50.80.0,0,02 = 341 \, \text{V}.$$

Lúc rôto quay với tốc độ  $n = 950 \, \text{vg/ph}$ , hệ số trượt

$$s = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05.$$

Sức điện động cảm ứng stato  $E_1 = 403 \, \text{V}$ .

Sức điện động rôto lúc rôto quay :

$$E_{2s} = sE_2 = 0,05.341 = 17 \, \text{V}.$$

Dòng điện rôto lúc không quay :

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{341}{\sqrt{0,06^2 + 0,1^2}} = 2924 \, \text{A}.$$

Dòng điện rôto lúc quay với  $s = 0,05$

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} = \frac{17}{\sqrt{0,06^2 + (0,05 \cdot 0,10)^2}} = 282 \, \text{A}.$$

So sánh  $I_2$  thấy rõ, lúc rôto bị ghìm không quay, dòng điện rôto tăng lên rất nhiều.

### **Bài số 9.3.**

Động cơ điện không đồng bộ ba pha, rôto dây quấn, số đôi cực  $p = 2$  hệ số qui đổi sức điện động và dòng điện  $k_e = k_i = 2$ . Điện trở và điện kháng pha rôto lúc đứng yên  $R_2 = 0,2 \, \Omega$  ;  $X_2 = 3,6 \, \Omega$ .  $Y/\Delta - 380 \, \text{V}/220 \, \text{V}$ .  $f = 50 \, \text{Hz}$ .

Động cơ đóng vào lưới điện  $U_d = 380 \, \text{V}$ , xác định cách đấu dây động cơ. Cho rằng sức điện động pha stato gần bằng điện áp đặt vào, tổn hao đồng trong dây quấn stato bằng tổn hao đồng trong dây quấn rôto, tổn hao sắt từ  $\Delta P_{st} = 145 \, \text{W}$ , tổn hao ma sát và phụ  $\Delta P_{msf} = 145 \, \text{W}$ , hệ số trượt  $s = 0,05$ .

Tính dòng điện rôto, công suất cơ hữu ích  $P_2$ , hiệu suất  $\eta$  của động cơ điện.

*Bài giải*

Với lưới điện  $U_d = 380 \, \text{V}$  động cơ đấu sao.

$$E_{1p} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \, \text{V}$$

Sức điện động pha rôto lúc đứng yên

$$E_2 = \frac{E_{lp}}{k_c} = \frac{220}{2} = 110 \text{ V}$$

Dòng điện pha rôto lúc quay

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} = \frac{0,05 \cdot 110}{\sqrt{0,2^2 + (0,05 \cdot 36)^2}} = 20,43 \text{ A}$$

Dòng điện pha stato

$$I_1 = \frac{I_2}{k_i} = \frac{20,43}{2} = 10,21 \text{ A}$$

Công suất điện từ

$$P_{dt} = \frac{3R_2 I_2^2}{s} = \frac{3 \cdot 0,2 (20,43)^2}{0,05} = 5008 \text{ W}$$

Tổn hao đồng ở stato và rôto :

$$\Delta P_{d1} = \Delta P_{d2} = 3R_2 I_2^2 = 3 \cdot 0,2 \cdot (20,43)^2 = 250,4 \text{ W}$$

Công suất cơ (toàn bộ) :

$$P_{cd} = P_{dt} - \Delta P_{d2} = 5008 - 250,4 = 4757,6 \text{ W}$$

Công suất cơ hữu ích trên trục :

$$P_2 = P_{cd} - \Delta P_{msf} = 4757,6 - 145 = 4612,6 \text{ W}$$

Công suất điện cung cấp cho động cơ :

$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 + \Delta P_{msf} + \Delta P_{d2} + \Delta P_{st} + \Delta P_{d1} \\ &= 4612,6 + 145 + 250,4 + 145 + 250,4 = 5403,4 \text{ W} \end{aligned}$$

Hiệu suất động cơ điện :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{4612,6}{5403,4} = 0,85$$

#### Bài số 9.4.

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha  $P_{dm} = 7,5 \text{ kW}$  ;  $220/380 \text{ V} - \Delta/Y$  ;  $f = 50 \text{ Hz}$  ;  $p = 2$  ;  $\cos \varphi_{dm} = 0,88$  ;  $\eta_{dm} = 0,88$ . Tổn hao sắt từ  $\Delta P_{st} = 220 \text{ W}$  ; tổn hao cơ và phụ  $\Delta P_{cf} = 124,5 \text{ W}$  ; điện trở dây quấn stato  $R_1 = 0,69 \Omega$

Tính dòng điện định mức  $I_{ldm}$ , công suất tác dụng  $P_1$ , công suất phản kháng  $Q_1$ , tốc độ quay  $n$ , mômen điện từ. Biết động cơ mắc vào lưới có  $\bar{U}_{dm} = 380 \text{ V}$ .

*Bài giải*

Dòng điện định mức stato  $I_{ldm}$

$$I_{ldm} = \frac{P_{dm}}{\sqrt{3} U_{ldm} \cos \varphi_{dm} \eta_{dm}} = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,88} = 14,7 \text{ A}$$

Công suất tác dụng  $P_1$  động cơ tiêu thụ

$$P_1 = \frac{P_{dm}}{\eta_{dm}} = \frac{7500}{0,88} = 8522,7 \text{ W}$$

hoặc tính là

$$P_1 = \sqrt{3}U_{ldm}I_{ldm}\cos\varphi = \sqrt{3}.380.14,7.0,88 = 8522,7 \text{ W}$$

Công suất phản kháng  $Q_1$  động cơ tiêu thụ

$$Q_1 = \sqrt{3}U_{ldm}I_{ldm}\sin\varphi = \sqrt{3}.380.14,7.0,47 = 4595 \text{ VAr}$$

hoặc tính là

$$Q_1 = P_1\tan\varphi = 8522,7.0,539 = 4595 \text{ VAr}$$

Tổn hao đồng dây quấn stato

$$\Delta P_{d1} = 3R_1I_{ldm}^2 = 447,3 \text{ W}$$

Công suất điện từ

$$P_{dt} = P_1 - \Delta P_{st} - \Delta P_{d1} = 8522,7 - 220 - 447,3 = 7855,4 \text{ W}$$

Tổn hao đồng rôto

$$\Delta P_{d2} = P_{dt} - \Delta P_{cf} - P_2 = 7855,4 - 124,5 - 7500 = 230,9 \text{ W}$$

Hệ số trượt định mức

$$s = \frac{\Delta P_{d2}}{P_{dt}} = \frac{230,9}{7855,4} = 0,029$$

Tốc độ vòng từ trường quay

$$n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60.50}{2} = 1500 \text{ vg/ph}$$

Tốc độ góc từ trường quay

$$\omega_1 = \frac{\omega}{p} = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2\pi . 50}{2} = 50\pi \text{ rad/s}$$

Tốc độ động cơ n

$$n = n_1(1 - s) = 1500(1 - 0,029) = 1456 \text{ vg/ph}$$

Mômen điện từ

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_1} = \frac{7855,4}{50\pi} = 50 \text{ Nm.}$$

**Bài số 9.5.**

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha dây quấn stato nối hình tam giác, điện áp lưới 220 V ; 50 Hz. Số liệu động cơ :  $p = 2$  ;  $I_1 = 21 \text{ A}$  ;  $\cos\varphi_1 = 0,82$  ;  $\eta = 0,837$  ;  $s = 0,053$ .

Tính tốc độ động cơ, công suất điện động cơ tiêu thụ  $P_1$ , tổng các tổn hao, công suất cơ hữu ích  $P_2$ , mômen quay động cơ.

*Bài giải*

Tốc độ góc của động cơ

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_1(1 - s) = \frac{2\pi . f}{p} (1 - s) \\ &= \frac{2\pi . 50}{2} (1 - 0,053) = 148,68 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

Tốc độ động cơ

$$n = \frac{60f}{p}(1 - s) = \frac{60 \cdot 50}{2}(1 - 0,053) = 1420 \text{ vg/ph}$$

Công suất điện động cơ tiêu thụ

$$P_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 21 \cdot 0,82 = 6561 \text{ W}$$

Công suất cơ hữu ích

$$P_2 = \eta_1 P_1 = 0,837 \cdot 6561 = 5491 \text{ W}$$

Tổng tổn hao công suất

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 6561 - 5491 = 1070 \text{ W}$$

Mômen quay động cơ

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{5491}{148,68} = 36,9 \text{ Nm}$$

### Bài số 9.6.

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha rôto lồng sóc :  $P_{dm} = 14 \text{ kW}$ , tốc độ định mức  $n_{dm} = 1450 \text{ vg/ph}$ , hiệu suất định mức  $\eta_{dm} = 0,885$ , hệ số công suất định mức  $\cos\varphi_{dm} = 0,88$  ;  $Y/\Delta - 380/220 \text{ V}$  ; tỷ số dòng điện mở máy  $I_{mở}/I_{dm} = 5,5$  ; mômen mở máy  $M_{mở}/M_{dm} = 1,3$  ; mômen cực đại  $M_{max}/M_{dm} = 2$ . Điện áp mạng điện  $U = 380 \text{ V}$ .

Tính : a) Công suất tác dụng và phản kháng động cơ tiêu thụ ở chế độ định mức.

b) Dòng điện, hệ số trượt và mômen định mức

c) Dòng điện mở máy, mômen mở máy, mômen cực đại

*Bài giải*

a) Công suất tác dụng động cơ tiêu thụ

$$P_1 = \frac{P_{dm}}{\eta} = \frac{14}{0,885} = 15,82 \text{ kW}$$

Công suất phản kháng động cơ tiêu thụ

$$Q_1 = P_1 \tan\varphi = 15,82 \cdot 0,54 = 8,54 \text{ kVar}$$

b) Dòng điện định mức

$$I_{ldm} = \frac{P_{dm}}{\eta \sqrt{3} U_{ldm} \cos\varphi_{dm}} = \frac{14 \cdot 10^3}{0,885 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88} = 27,31 \text{ A}$$

Hệ số trượt định mức

$$s = \frac{n_1 - n}{n} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,0333$$

Sau khi tính được dòng điện  $I_{ldm}$ , ta cũng có thể tính công suất phản kháng như sau :

$$Q_1 = \sqrt{3}U_1 I_1 \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 27,31 \cdot 0,475 = 8,54 \text{ kVar}$$

Mômen định mức

$$M_{dm} = 9550 \frac{P_{dm}}{n_{dm}} = 9550 \frac{14}{1450} = 92,2 \text{ Nm}$$

c) Mômen mở máy

$$M_{mở} = 1,3M_{dm} = 119,8 \text{ Nm}$$

Mômen cực đại

$$M_{max} = 2M_{dm} = 184,4 \text{ Nm}$$

Dòng điện mở máy

$$I_{mở} = 5,5I_{dm} = 150,2 \text{ A}.$$

### Bài số 9.7.

Động cơ điện không đồng bộ ba pha có thông số như bài 9-6, làm việc với lưới điện có điện áp  $U = 220 \text{ V}$ . Tính :

a) Công suất tác dụng  $P_1$ , phản kháng  $Q_1$ , dòng điện định mức, dòng mở máy, mômen định mức, mômen mở máy, mômen cực đại.

b) Dòng điện, mômen mở máy khi mở máy bằng phương pháp đổi nối Y -  $\Delta$ . Động cơ có thể mở máy được không khi mômen cản mở máy  $M_c = 0,5 M_{dm}$ .

*Bài giải*

Mạng điện  $U = 220 \text{ V}$ , động cơ đấu hình tam giác. Các kết quả tính  $P_1$ ,  $Q_1$ , dòng điện pha  $I_{lf}$ ,  $M_{dm}$ ,  $M_{mở}$ ,  $M_{max}$  vẫn không đổi, giống như đã tính ở bài 9.6. Vì đấu hình tam giác, nên dòng điện định mức (dòng điện dây) sẽ là :

$$I_{ldm} = \sqrt{3}I_{lp} = \sqrt{3} \cdot 27,31 = 47,3 \text{ A}$$

Ta có thể tính theo công thức quen thuộc

$$I_{ldm} = \frac{P_{dm}}{0,885 \cdot \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,83} = 47,3 \text{ A}$$

Dòng điện mở máy khi mở máy trực tiếp

$$I_{mở} = 5,5I_{dm} = 260,15 \text{ A}$$

b) Khi mở máy, đấu sao, sau đó chuyển về tam giác

Dòng điện mở máy trường hợp này

$$I_{mở} = \frac{260,15}{3} = 86,7 \text{ A}$$

Mômen mở máy

$$M_{mở} = \frac{119,8}{3} = 39,9 \text{ Nm}$$

Mômen cản khi mở máy :

$$M_c = 0,5M_{dm} = 0,5 \cdot 92,2 = 46,1 \text{ Nm}$$

Mômen mở máy nhỏ hơn mômen cản vì thế không thể mở máy được khi dùng phương pháp đổi nối Y -  $\Delta$ .

**Bài số 9.8.**

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha, rôto dây quấn,  $R_1 = 0,46 \, \Omega$  ;  $X_1 = 2,24 \, \Omega$  ;  $k_{dq1} = 0,932$  ;  $w_1 = 192$  vòng,  $R_2 = 0,02 \, \Omega$  ;  $X_2 = 0,08 \, \Omega$  ;  $k_{dq2} = 0,955$  ;  $w_2 = 36$  vòng. Dây quấn stato đấu tam giác, mạng điện  $U = 220 \, V$ ,  $f = 50 \, Hz$ , số pha  $m_1 = m_2 = 3$ .

Tính hệ số qui đổi sức điện động  $k_e$ , hệ số qui đổi dòng điện  $k_i$  điện trở mở máy mắc vào mạch rôto để mômen mở máy cực đại. Tính dòng điện stato và rôto khi có biến trở mở máy và khi mở máy trực tiếp.

*Bài giải*

Hệ số qui đổi sức điện động

$$k_e = \frac{w_1 k_{dq1}}{w_2 k_{dq2}} = \frac{192.0,932}{36.0,955} = 5,2$$

Hệ số qui đổi dòng điện

$$k_i = \frac{m_1 w_1 k_{dq1}}{m_2 w_2 k_{dq2}} = \frac{3.192.0,932}{3.36.0,955} = 5,2$$

Hệ số qui đổi tổng trở

$$k = k_e \cdot k_i = 5,2 \cdot 5,2 = 27,04$$

Điện trở rôto qui đổi về stato :

$$R'_2 = k_e k_i R_2 = (5,2)^2 \cdot 0,02 = 0,54 \, \Omega$$

Điện kháng rôto qui đổi về stato

$$X'_2 = k_e k_i X_2 = (5,2)^2 \cdot 0,08 = 2,163 \, \Omega$$

Để mômen mở máy cực đại thì

$$s_{th} = \frac{R'_2 + R'_f}{X'_2 + X_1} = 1$$

Từ đó có  $R'_f = 3,88 \, \Omega$

Điện trở phụ chưa qui đổi

$$R_f = \frac{R'_f}{k_e k_i} = 0,1436 \, \Omega$$

Dòng điện pha stato khi mở máy bằng điện trở phụ ở mạch rôto

$$\begin{aligned} I_{mop} &= \frac{U_p}{\sqrt{(R_1 + R'_2 + R'_f)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} = \\ &= \frac{220}{\sqrt{(0,46 + 0,54 + 3,88)^2 + (2,24 + 2,163)^2}} = 33,75 \, A \end{aligned}$$

Dòng điện dây lúc mở máy (stato đấu tam giác):

$$I_{md} = \sqrt{3} I_{mop} = \sqrt{3} . 33,47 = 58 \, A \tag{1}$$

Dòng điện rôto khi mở máy (rôto đấu sao)

$$I_2 = k_i \cdot I_1 = k_i \cdot I_{m\sigma p} = 5,2 \cdot 33,47 = 174 \text{ A}$$

Nếu không dùng điện trở phụ mà mở máy trực tiếp thì dòng điện mở máy là

$$\begin{aligned} I_{m\sigma} &= \sqrt{3} \frac{220}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \\ &= \sqrt{3} \frac{220}{\sqrt{(0,46 + 0,54)^2 + (2,24 + 2,163)^2}} = 84,4 \text{ A} \end{aligned}$$

So sánh (1) và (2) ta thấy dùng điện trở mắc vào mạch rôto, dòng điện mở máy giảm đi 1,46 lần.  $\left(\frac{84,4}{58} = 1,46\right)$ .

### Bài số 9.9.

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha có số liệu như ở bài 9.6. Điện áp mạng điện  $U = 380 \text{ V}$ . Tính toán các phương pháp mở máy sau :

a) Dùng biến áp tự ngẫu để giảm dòng điện mở máy 2,25 lần thì hệ số biến áp phải là bao nhiêu? Tính mômen cản tối đa để động cơ có thể mở máy được trong trường hợp này.

b) Nếu dùng cuộn điện cảm nối vào phía stato để điện áp vào dây quấn giảm đi 10%. Tính dòng điện mở máy và mômen mở máy. Xác định mômen cản  $M_c$  lúc mở máy để động cơ có thể mở máy được bằng phương pháp này.

#### Bài giải

a) Gọi  $k_{ba}$  là hệ số biến áp máy tự ngẫu  $k_{ba} = \frac{U_1}{U_2}$ . Để dòng điện mở máy giảm đi 2,25 lần thì hệ số biến áp sẽ là  $k_{ba} = \sqrt{2,25} = 1,5$ .

Dòng điện mở máy khi dùng biến áp tự ngẫu

$$I_{m.ba} = \frac{I_{m,tt}}{k_{ba}^2} = \frac{150,2}{2,25} = 66,75 \text{ A}$$

trong đó  $I_{m,tt}$  là dòng điện mở máy trực tiếp đã tính ở bài 9.6.

Mômen mở máy khi dùng biến áp tự ngẫu

$$M_{m.ba} = \frac{M_{m,tt}}{k^2} = \frac{119,8}{2,25} = 53,24 \text{ Nm}$$

$M_{m,tt}$  là mômen mở máy trực tiếp đã tính ở bài 9.6.

Để động cơ có thể mở máy khi  $k_{ba} = 1,5$  thì mômen cản lực mở máy  $M_c < 53,24 \text{ Nm}$ .

b) Khi dùng cuộn điện cảm, điện áp đặt vào dây quấn động cơ sẽ bằng  $0,9U_{dm}$  do đó dòng điện mở máy sẽ là :

$$I_{m\sigma} = 0,9I_{m,tt} = 0,9 \cdot 150,2 = 135,18 \text{ A}$$

Mômen mở máy sẽ là :

$$M_{m\sigma} = (0,9)^2 M_{m,tt} = 97,03 \text{ Nm}$$

Để động cơ có thể mở máy được, trong trường hợp này thì mômen cản lúc mở máy phải là :

$$M_c < 97,03 \text{ Nm} .$$

#### Bài số 9.10.

Một động cơ không đồng bộ ba pha rôto dây quấn  $R_2 = 0,0278 \Omega$ , tốc độ định mức  $n_{dm} = 970$  vg/ph, hiệu suất định mức  $\eta_{dm} = 0,885$ . Tính điện trở phụ mắc vào mạch rôto để tốc độ động cơ là 700 vg/ph. Cho biết mômen cản của tải không phụ thuộc tốc độ.

#### Bài giải

Mômen cản không đổi, dẫn đến mômen điện từ không đổi, do đó

$$\frac{R'_2}{s} = \text{không đổi, hoặc } \frac{R_2}{s} = \text{không đổi}$$

Hệ số trượt khi định mức

$$s_{dm} = \frac{1000 - 970}{1000} = 0,03,$$

Hệ số trượt khi  $n = 700$  vg/ph

$$s = \frac{1000 - 700}{1000} = 0,3$$

Vậy : 
$$\frac{R_2}{s_{dm}} = \frac{R_2 + R_p}{s} = \frac{0,0287}{0,03} = \frac{0,0278 + R_p}{0,3}$$

Giải ra :  $R_p = 0,25 \Omega .$

Vì  $\frac{R'_2}{s}$  không đổi nên  $I_1$ ,  $P_1$  sẽ không đổi. Vì mômen không đổi nên công suất đầu ra  $P_2 = \omega_2 M_2$  tỷ lệ thuận với tốc độ. Từ hai nhận xét đó ta có

$$\frac{\eta}{\eta_{dm}} = \frac{n}{n_{dm}} = \frac{700}{970} = 0,722$$

Tốc độ càng giảm, hiệu suất càng giảm. Ứng với  $n = 700$  vg/ph, hiệu suất động cơ là  $\eta = 0,722 \cdot 0,885 = 0,639$ .



## BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ CHƯƠNG 9

### Bài số 9-11

Một động cơ không đồng bộ ba pha  $f = 60\text{Hz}$  tần số dòng điện rôto  $f_2 = 3\text{Hz}$ , số cực từ bằng 4. Công suất điện từ  $P_{dt} = 120\text{kW}$ ; tổn hao đồng ở stato  $\Delta P_{d1} = 3\text{kW}$ ; tổn hao cơ và phụ  $\Delta P_{cof} = 2\text{kW}$ ; tổn hao sắt từ  $\Delta P_{st} = 1,7\text{kW}$ .

- 1) Tính hệ số trượt  $s$ , tốc độ động cơ  $n$
- 2) Tính công suất điện động cơ tiêu thụ  $P_1$
- 3) Tính hiệu suất động cơ.

Đáp số:  $s = 0,05$ ;  $n = 1710\text{vòng/ph}$

$$P_1 = 124,7\text{kW}; \eta = 0,898.$$

### Bài số 9-12

Một động cơ điện không đồng bộ ba pha  $P_{dm} = 45\text{kW}$

$$f = 50\text{Hz}; Y/\Delta - 380/220\text{V}; \frac{I_{m\phi}}{I_{dm}} = 6; \frac{M_{m\phi}}{M_{dm}} = 2,7; \cos\varphi_{dm} = 0,86$$

$\eta_{dm} = 0,91$ ;  $n_{dm} = 1460$  vòng/ph. Động cơ làm việc với lưới điện  $U_d = 380\text{V}$ .

- 1) Tính  $I_{dm}$ ,  $M_{dm}$ ,  $I_{m\phi}$ ,  $M_{m\phi}$
- 2) Để mở máy với tải có mômen cản ban đầu  $M_c = 0,45M_{dm}$ , người ta dùng biến áp tự ngẫu để  $I_{m\phi ba} = 100\text{A}$ . Xác định hệ số biến áp  $k$ , và động cơ có thể mở máy được không.

3) Cũng với tải trên, dùng điện kháng mở máy với  $I_{m\phi DK} = 200\text{A}$ . Xác định điện áp đặt lên động cơ lúc mở máy và động cơ có thể mở máy được không.

Đáp số: 1)  $I_{dm} = 87,36\text{A}$ ;  $M_{dm} = 294,3\text{ Nm}$

$$I_{m\phi} = 524,16\text{A}; M_{m\phi} = 794,6\text{ Nm}$$

$$2) k = 2,29; M_{m\phi ba} = 151,52\text{ Nm} = 0,515M_{dm}$$

$$M_{m\phi ba} > M_c, \text{ động cơ mở máy được}$$

$$3) U_{m\phi} = 0,381U_{dm} = 145\text{V}.$$

$$M_{m\phi DK} = 115,34\text{ Nm} = 0,392 M_{dm}$$

$$M_{m\phi DK} < M_c, \text{ động cơ không mở máy được}$$

### Bài số 9-13

Một động cơ không đồng bộ ba pha đấu sao nối vào lưới  $U_d = 380\text{V}$ . Biết  $R_n = 0,122\Omega$ ;  $X_n = 0,4\Omega$ ;  $f = 50\text{Hz}$

1) Tính dòng điện mở máy  $I_{m\phi}$

2) Dung điện kháng mở máy  $I_{m\phi DK} = 300A$ . Tính điện cảm  $L$  của cuộn điện kháng mở máy.

Đáp số:  $I_{m\phi} = 526A$ ;  $L = 1,029 \text{ mH}$ .

**Bài số 9-14**

Một động cơ không đồng bộ ba pha roto dây quấn

$E_2 = 157V$ ;  $p = 4$ ;  $f = 50\text{Hz}$ ;  $n_{dm} = 728 \text{ vg/ph}$

$R_2 = 0,105\Omega$ ;  $X_2 = 0,525\Omega$

Tính mômen điện từ của động cơ.

Đáp số:  $M_{dt} = 257,34 \text{ Nm}$

## Chương 10

# MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### § 10.1. ĐỊNH NGHĨA VÀ CÔNG DỤNG

#### 10.1.1. Định nghĩa

Những máy điện xoay chiều có tốc độ quay rôto  $n$  bằng tốc độ quay của từ trường  $n_1$  gọi là máy điện đồng bộ. Máy điện đồng bộ có 2 dây quấn : dây quấn stato nối với lưới điện có tần số  $f$  không đổi, dây quấn rôto được kích thích bằng dòng điện một chiều. Ở chế độ xác lập máy điện đồng bộ có tốc độ quay rôto luôn không đổi khi tải thay đổi. ✓

#### 10.1.2. Công dụng

Máy phát điện đồng bộ là nguồn điện chính của các lưới điện quốc gia, trong đó động cơ sơ cấp là các tuabin hơi, tuabin khí hoặc tuabin nước. Công suất của mỗi máy phát có thể đạt đến 600 MVA hoặc lớn hơn và chúng thường làm việc song song. Ở các lưới điện công suất nhỏ, máy phát điện đồng bộ được kéo bởi các động cơ diesel hoặc các tuabin khí, có thể làm việc đơn lẻ hoặc hai ba máy làm việc song song.

Động cơ đồng bộ được sử dụng khi truyền động công suất lớn, có thể đạt đến vài chục MW. Trong công nghiệp luyện kim, khai thác mỏ, thiết bị lạnh, động cơ đồng bộ được sử dụng để truyền động các máy bơm, nén khí, quạt gió v.v. với tốc độ không đổi. Động cơ đồng bộ công suất nhỏ được sử dụng trong các thiết bị như đồng hồ điện, dụng cụ tự ghi, thiết bị lập chương trình, thiết bị điện sinh hoạt v.v.

Trong hệ thống điện, máy bù đồng bộ dùng để phát công suất phản kháng cho lưới điện để bù hệ số công suất và ổn định điện áp.

### § 10.2. CẤU TẠO MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ

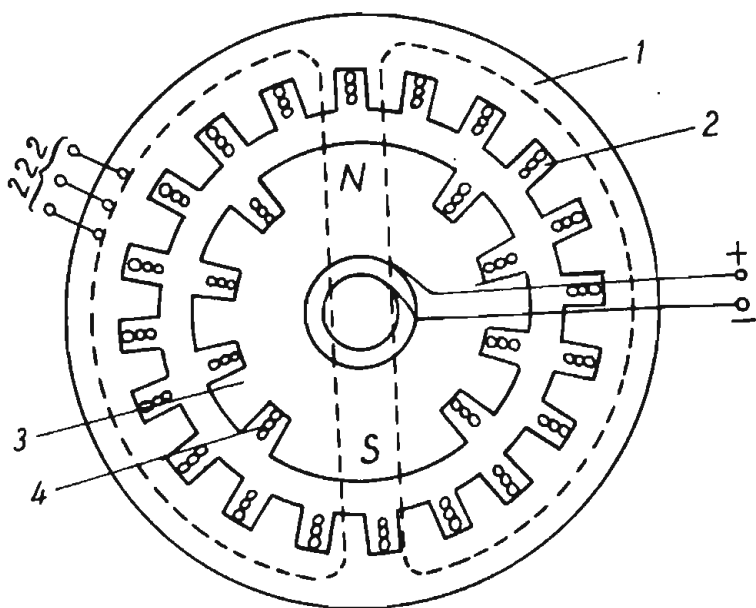
Cấu tạo máy điện đồng bộ gồm 2 bộ phận chính là stato và rôto. Trên hình 10.1 vẽ mặt cắt ngang trục máy trong đó 1 : lá thép stato ; 2 : dây quấn stato , 3 : lá thép rôto ; 4 : dây quấn rôto.

### 10.2.1. Stato

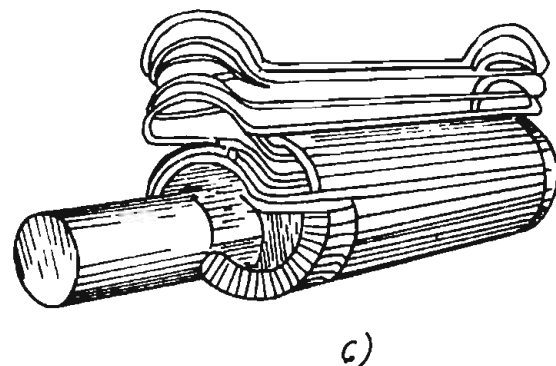
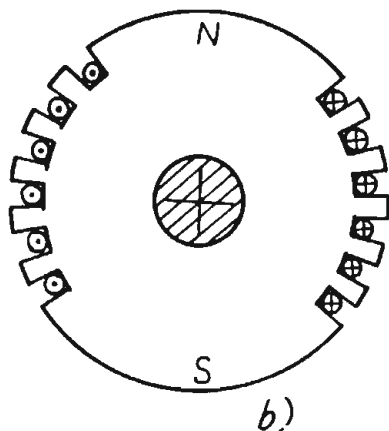
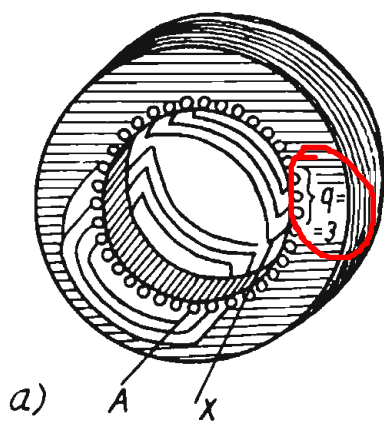
Stato của máy điện đồng bộ vẽ trên hình 10.2a, giống như stato của máy điện không đồng bộ, gồm hai bộ phận chính là lõi thép stato và dây quấn ba pha stato. Dây quấn stato gọi là dây quấn phần ứng.

### 10.2.2. Rôto

Rôto máy điện đồng bộ có các cực từ và dây quấn kích từ dùng để tạo ra từ trường cho máy. Đối với máy nhỏ rôto là nam châm vĩnh cửu.



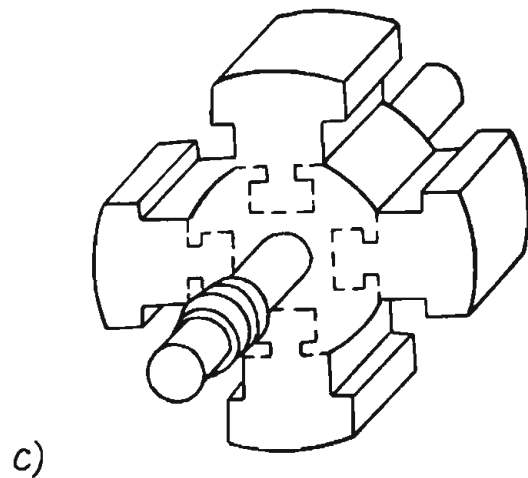
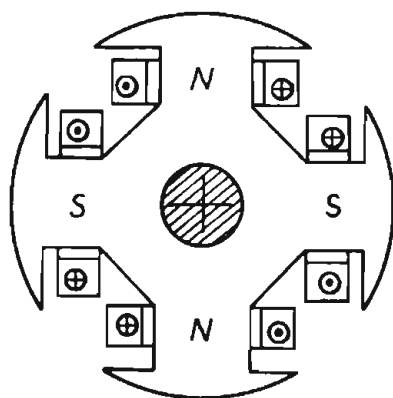
Hình 10.1.



Có hai loại : rôto cực ẩn và rôto cực lồi. Hình 10.2b, vẽ rôto cực ẩn, hình 10.2c vẽ rôto cực lồi.

Rôto cực lồi dùng ở các máy có tốc độ thấp, có nhiều đôi cực.

Rôto cực ẩn thường dùng ở máy có tốc độ cao 3000 vg/ph, có một đôi cực.



Hình 10.2.

Để có sdd sin, từ trường của cực từ rôto phải phân bố hình sin dọc theo khe hở không khí giữa stato và rôto, ở đỉnh các cực từ có từ cảm cực đại.

Đối với rôto cực ẩn, dây quấn kích từ được đặt trong các rãnh. Đối với rôto cực lồi dây quấn kích từ quấn xung quanh thân cực từ.

Hai đầu của dây quấn kích từ đi luôn trong trục và nối với hai vòng trượt đặt ở đầu trục, thông qua hai chổi điện để nối với nguồn kích từ (hình 10.3).

§ 10.3. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY  
**PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ**

Cho dòng điện kích từ (dòng điện không đổi) vào dây quấn kích từ sẽ tạo nên từ trường rôto. Khi quay rôto bằng động cơ sơ cấp, từ trường của rôto sẽ cắt dây quấn phần ứng stato và cảm ứng sức điện động xoay chiều hình sin, có trị số hiệu dụng là :

$$E_o = 4,44 \, f w_1 k_{dq} \Phi_o, \tag{10.1}$$

trong đó :  $E_o$ ,  $w_1$ ,  $k_{dq}$ ,  $\Phi_o$  là sđđ pha, số vòng dây một pha, hệ số dây quấn, từ thông cực từ rôto.

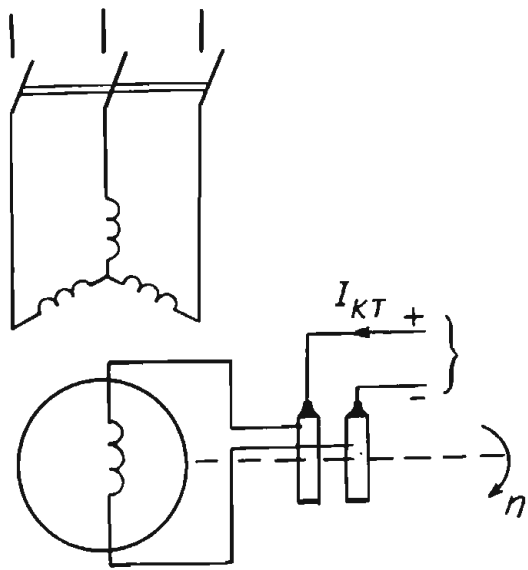
Nếu rôto có  $p$  đôi cực, khi rôto quay được một vòng, sđđ phần ứng sẽ biến thiên  $p$  chu kỳ. Do đó tần số  $f$  của sđđ sẽ là :

$$f = pn, \text{ n đo bằng vg/s} \tag{10.2a}$$

hoặc  $f = \frac{pn}{60}, \text{ n đo bằng vòng/phút} \tag{10.2b}$

Dây quấn ba pha stato có trục lệch nhau trong không gian một góc  $120^\circ$  điện, cho nên sđđ các pha lệch nhau góc pha  $120^\circ$ .

Khi dây quấn stato nối với tải, trong các dây quấn sẽ có dòng điện ba pha. Giống như ở máy điện không đồng bộ, dòng điện ba pha trong ba dây quấn sẽ tạo nên từ trường quay, với tốc độ là  $n_1 = 60 f/p$ , đúng bằng tốc độ  $n$  của rôto. Do đó loại máy điện này được gọi là máy điện đồng bộ.



Hình 10.3.

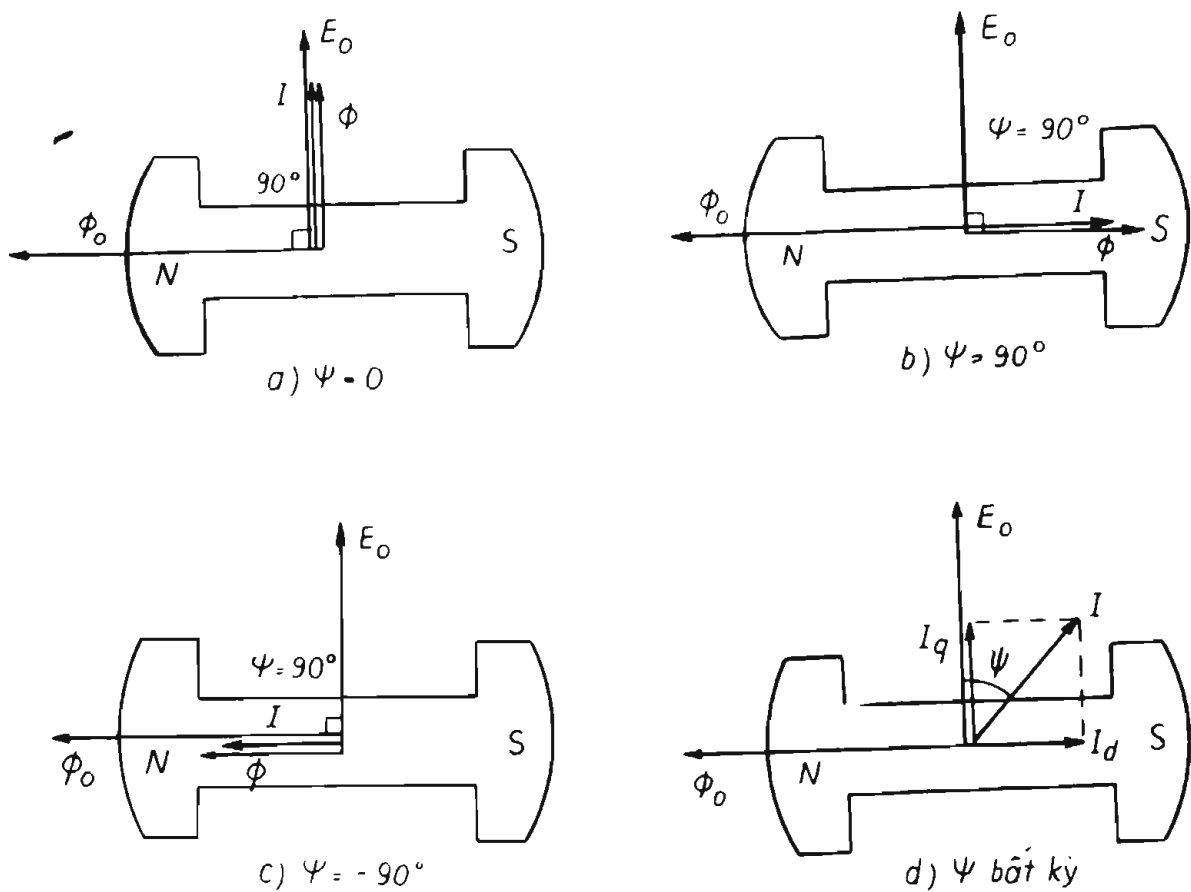
§ 10.4. PHẢN ỨNG PHẦN ỨNG CỦA **MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ**

Khi máy phát điện làm việc, từ thông của cực từ rôto  $\Phi_o$  cắt dây quấn stato cảm ứng ra sđđ  $E_o$  chậm pha so với từ thông  $\Phi_o$  góc  $90^\circ$  (hình 10.4a). Dây quấn stato nối với tải sẽ tạo nên dòng điện  $I$  cung cấp cho tải. Dòng điện  $I$  trong dây quấn stato tạo nên từ trường quay phần ứng. Từ thông phần ứng quay đồng bộ với từ thông của cực từ  $\Phi_o$ . Góc lệch pha giữa  $E_o$  và  $I$  do tính chất của tải quyết định. Tác dụng của từ trường phần ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng.

Trường hợp tải thuần trở (hình 10.4a) góc lệch pha  $\psi = 0$ ,  $E_o$  và  $I$  cùng pha. Dòng điện  $I$  sinh ra từ thông phần ứng cùng pha với dòng điện. Từ thông phần ứng theo hướng ngang trục, làm méo từ trường cực từ, ta gọi là phản ứng phần ứng ngang trục.

Trường hợp tải thuần cảm (hình 10.4b) góc lệch pha  $\psi = 90^\circ$  dòng điện  $I$  sinh ra từ thông phần ứng  $\Phi$  ngược chiều với  $\Phi_o$  ta gọi là phản ứng phần ứng dọc trục khử từ, có tác dụng làm giảm từ trường tổng.

Trường hợp tải thuần dung  $\psi' = -90^\circ$  (hình 10.4c) dòng điện sinh ra từ thông phản ứng  $\Phi$  cùng chiều với  $\Phi_0$ , ta gọi là phản ứng phần ứng dọc trợ từ, có tác dụng làm tăng từ trường tổng.



Hình 10.4.

Trường hợp tải bất kỳ (hình 10.4d) ta phân tích dòng điện  $I$  làm hai thành phần: Thành phần dọc trục  $I_d = I \sin \psi'$  và thành phần ngang trục  $I_q = I \cos \psi'$ , dòng điện  $I$  sinh ra từ trường phản ứng vừa có tính chất ngang trục vừa có tính chất dọc trục khử từ hoặc trợ từ tùy theo tính chất của tải (tính chất điện cảm hoặc tính chất điện dung)

## § 10.5. MÔ HÌNH TOÁN CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

### 10.5.1. Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lõi

Khi máy phát điện làm việc từ thông cực từ  $\Phi_0$  sinh ra sdd  $E_0$  ở dây quấn stato. Khi máy có tải sẽ có dòng điện  $I$  và điện áp  $U$  trên tải. Ở máy cực lõi vì khe hở dọc trục và ngang trục khác nhau nên ta phải phân tích ảnh hưởng của phản ứng phần ứng theo hướng dọc trục và ngang trục Từ trường chính phần ứng ngang trục tạo nên sdd ngang trục .

$$E_{uq} = -j I_q X_{uq} ,$$

trong đó  $X_{uq}$  - điện kháng phản ứng phần ứng ngang trục

Từ trường chính phản ứng dọc trục tạo nên sđd dọc trục  $E_{ud} = -j\dot{I}_d X_{ud}$ , trong đó  $X_{ud}$  là điện kháng phản ứng dọc trục. Từ thông tản của dây quấn stato đặc trưng bởi điện kháng tản  $X_l$  không phụ thuộc hướng dọc trục hoặc ngang trục :

$$E_l = -j\dot{I}X_l = -j\dot{I}_d X_l - j\dot{I}_q X_l$$

Bỏ qua điện áp rơi trên dây quấn phản ứng  $IR_v$  ta có phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực lỗi :

$$U = E_o - j\dot{I}_d X_{ud} - j\dot{I}_d X_l - j\dot{I}_q X_{uq} - j\dot{I}_q X_l \tag{10.3}$$

$$= E_o - j\dot{I}_d (X_{ud} + X_l) - j\dot{I}_q (X_{uq} + X_l) \tag{10.4}$$

Gọi  $X_{ud} + X_l = X_d$  là điện kháng đồng bộ dọc trục.

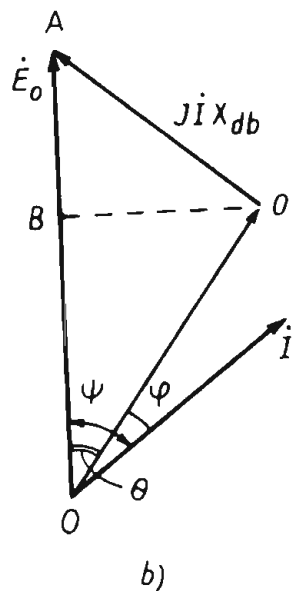
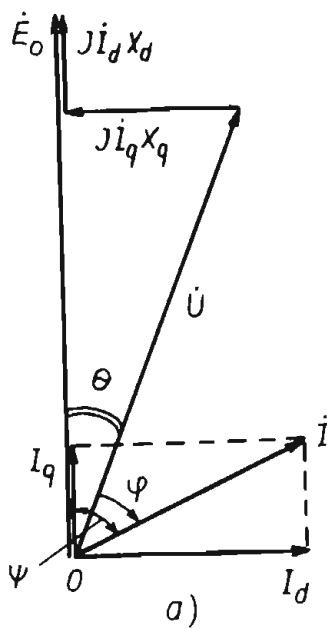
$X_{uq} + X_l = X_q$  là điện kháng đồng bộ ngang trục, ta có thể viết gọn lại :

$$U = E_o - j\dot{I}_d X_d - j\dot{I}_q X_q \tag{10.5}$$

Phương trình (10.5) tương ứng với đồ thị vectơ của máy phát đồng bộ cực lỗi, (hình 10.5a).

Từ phương trình điện áp và đồ thị vectơ ta thấy góc lệch pha giữa điện áp  $U$  và sđd  $E_o$  do tải quyết định.

### 10.5.2. Phương trình điện áp của máy phát điện đồng bộ cực ẩn



Hình 10.5.

Đối với máy phát cực ẩn là trường hợp đặc biệt của cực lỗi trong đó  $X_d = X_q$  gọi là điện kháng đồng bộ  $X_{db}$ . Phương trình điện áp của máy phát đồng bộ cực ẩn có thể viết :

$$\dot{U} = E_o - j\dot{I}X_{db} \tag{10.6}$$

đồ thị vectơ của nó được vẽ trên hình 10.5c.

## § 10.6. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ CỰC LỖI

### 10.6.1. Công suất tác dụng

Công suất tác dụng của máy phát cung cấp cho tải là

$$P = mUI\cos\varphi \tag{10.7}$$

trong đó :  $U, I$  là điện áp pha, dòng điện pha.

$m$  là số pha.

Theo đồ thị vectơ hình 10.5a ta thấy  $\varphi = \psi - \theta$  do đó :

$$P = mUI\cos\varphi = mUI\cos(\psi - \theta) = mUI\cos\psi\cos\theta + mUI\sin\psi\sin\theta$$

Vì  $I\cos\psi = I_q$  và  $I\sin\psi = I_d$ , theo đồ thị vectơ hình 8.5a rút ra

$$I_q = \frac{U\sin\theta}{x_q} \quad \text{và} \quad I_d = \frac{E_o - U\cos\theta}{x_d}$$

Theo biểu thức của  $I_d$  và  $I_q$  vào phương trình công suất điện từ, bỏ qua tổn hao và sau một vài biến đổi đơn giản ta có :

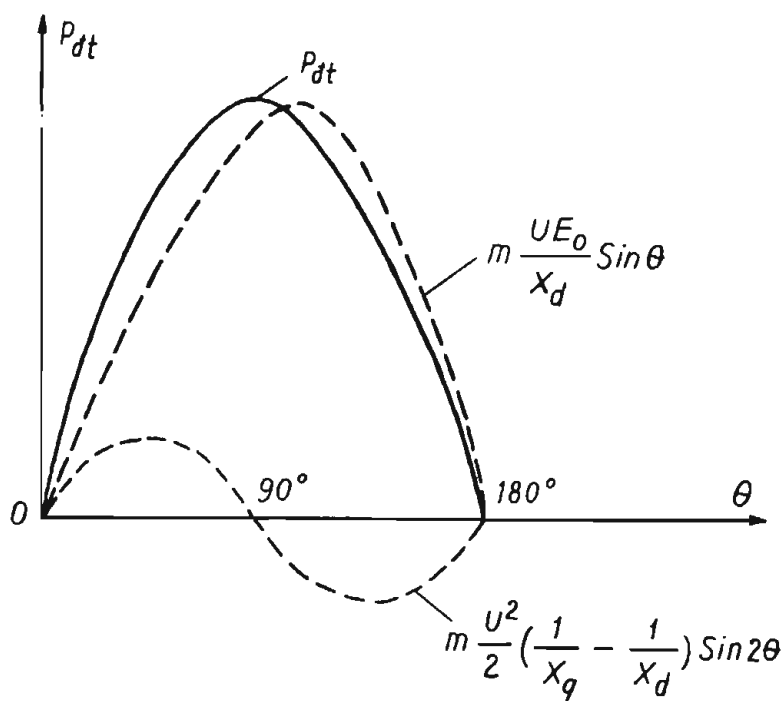
$$P_{dt} = mU \frac{E_o}{X_d} \sin\theta + m \frac{U^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (10.8)$$

Ta nhận thấy công suất điện từ gồm 2 thành phần (hình 10.6) :

- Thành phần  $\frac{mUE_o}{X_d} \sin\theta$  do dòng điện kích từ tạo nên tỷ lệ với  $\sin\theta$ . Đó là thành phần công suất chủ yếu của máy phát.

- Thành phần  $\frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta$ , không phụ thuộc vào dòng điện kích từ và chỉ xuất hiện khi  $x_d \neq x_q$ . Đối với máy cực ẩn  $X_d = X_q$  thành phần này bằng không. Người ta chế tạo động cơ rôto có khe hở dọc trục và ngang trục khác nhau (cực lồi) mà không cần dòng điện kích từ, do ảnh hưởng của thành phần công suất này cũng tạo nên được mômen quay, đó là nguyên lý của động cơ phản kháng.

Đặc tính  $P = f(\theta)$  gọi là đặc tính góc công suất. Máy phát làm việc ổn định khi  $\theta$  trong khoảng  $0 \div \frac{\pi}{2}$  ; khi tải định mức  $\theta = 20^\circ \div 30^\circ$ .



Hình 10.6.

### 10.6.2. Công suất phản kháng

Công suất phản kháng của máy phát đồng bộ là :

$$Q = mUI\sin\varphi = mUI\sin(\psi - \theta) = m[U\sin\psi\cos\theta - U\cos\psi\sin\theta] \quad (10.9)$$

Từ đồ thị vectơ hình 10.5b ta có :



$$IX_{db}\sin\psi' = AB = OA - OB = E_0 - U\cos\theta ,$$

do đó

$$I\sin\psi' = \frac{E_0 - U\cos\theta}{X_{db}} \quad (10.10)$$

$$IX_{db}\cos\psi' = BC = U\sin\theta$$

do đó

$$I\cos\psi' = \frac{U\sin\theta}{X_{db}} \quad (10.11)$$

Thay (10.10), (10.11) vào (10.9) ta có :

$$Q = \frac{mUE_0\cos\theta}{X_{db}} - \frac{mU^2}{X_{db}} \quad (10.12)$$

Biểu thức (10.12) là công suất phản kháng của máy phát đồng bộ viết theo các thông số của máy.

### 10.6.3. Điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng

#### a) Điều chỉnh công suất tác dụng

Máy phát biến đổi cơ năng thành điện năng, vì thế muốn điều chỉnh công suất tác dụng  $P$ , phải điều chỉnh công suất cơ của động cơ sơ cấp (tuabin hơi hoặc tuabin khí v.v...).

#### b) Điều chỉnh công suất phản kháng

Từ biểu thức công suất phản kháng (10.12) :

$$Q = \frac{mU(E_0\cos\theta - U)}{X_{db}} \quad (10.13)$$

Khi giữ  $U$ ,  $f$  và  $P$  không đổi thì

Nếu  $E_0\cos\theta < U$  thì  $Q < 0$

$E_0\cos\theta = U$  thì  $Q = 0$

$E_0\cos\theta > U$  thì  $Q > 0$  .

Khi  $Q < 0$  nghĩa là máy không phát công suất phản kháng, mà nhận công suất phản kháng của lưới điện để tạo ra từ trường, máy thiếu kích từ.

Khi  $Q > 0$  máy phát công suất phản kháng cung cấp cho tải, máy quá kích từ.

Nhìn các công thức trên, muốn thay đổi công suất phản kháng, phải thay đổi  $E_0$ , nghĩa là phải điều chỉnh dòng điện kích từ. Muốn tăng công suất phản kháng phát ra, phải tăng kích từ. Thật vậy nếu tăng dòng điện kích từ,  $E_0$  sẽ tăng,  $\cos\theta$  tăng (vì  $E_0\sin\theta = \text{const}$ ) do đó  $Q$  tăng.

§ 10.7. ĐẶC TÍNH NGOÀI VÀ ĐẶC TÍNH ĐIỀU CHỈNH

10.7.1. Đặc tính ngoài của máy phát điện đồng bộ

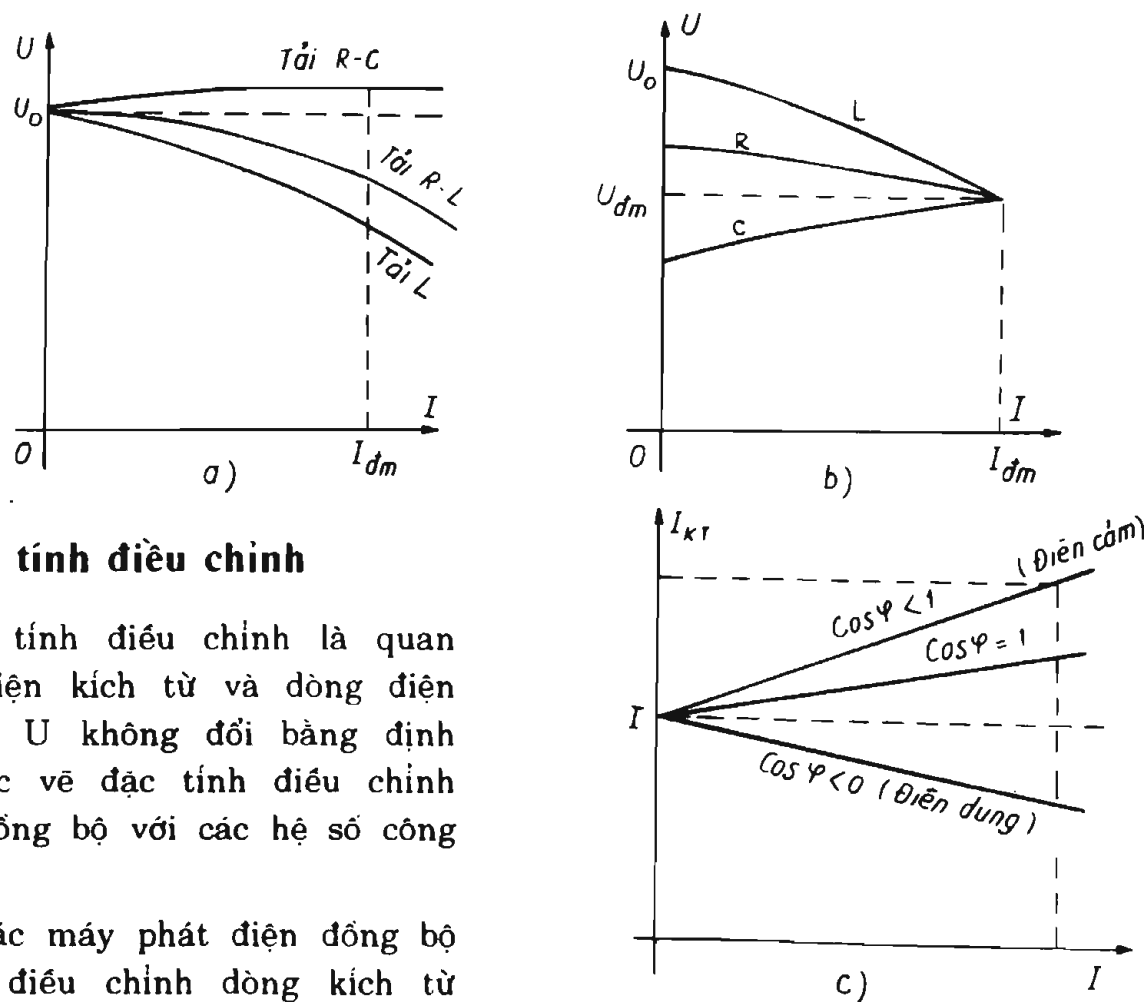
Đặc tính ngoài của máy phát là quan hệ điện áp  $U$  trên cực máy phát và dòng điện tải  $I$  khi tính chất tải không đổi ( $\cos\varphi_1 = \text{const}$ ), tần số và dòng điện kích từ máy phát không đổi. Từ phương trình điện áp (10.5), ta vẽ đồ thị vectơ máy phát ứng với các loại tải khác nhau. Ta thấy khi tải tăng, đối với tải cảm và trở, điện áp giảm (tải cảm điện áp giảm nhiều hơn), đối với tải dung điện áp tăng. Bằng đồ thị, ta thấy rằng, điện áp máy phát phụ thuộc vào dòng điện và đặc tính của tải.

Hình 10.7a vẽ đặc tính ngoài của máy phát khi  $I_{kt} = \text{const}$  ( $E_0 = \text{const}$ ) và  $\cos\varphi_1$  không đổi, ứng với các tải thuần  $R, L, C$ . Khi tải có tính chất cảm phản ứng phần ứng dọc trục khử từ làm từ thông tổng giảm do đó đặc tính ngoài dốc hơn tải điện trở. Để giữ điện áp  $U$  bằng định mức, phải thay đổi  $E_0$  bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ. Đường đặc tính ngoài ứng với điều chỉnh kích từ sao cho  $I = I_{dm}$  có  $U = U_{dm}$  vẽ trên hình 10.7b.

Độ biến thiên điện áp đầu cực của máy phát khi làm việc định mức so với khi không tải xác định như sau :

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100\% = \frac{E_0 - U_{dm}}{U_{dm}} 100\% \tag{10.14}$$

Độ biến thiên điện áp  $\Delta U\%$  của máy phát đồng bộ có thể đạt đến vài chục phần trăm vì điện kháng đồng bộ  $X_{db}$  khá lớn.



Hình 10.7.

10.7.2. Đặc tính điều chỉnh

Đường đặc tính điều chỉnh là quan hệ giữa dòng điện kích từ và dòng điện tải khi điện áp  $U$  không đổi bằng định mức. Hình 10.7c vẽ đặc tính điều chỉnh của máy phát đồng bộ với các hệ số công suất khác nhau.

Phần lớn các máy phát điện đồng bộ có bộ tự động điều chỉnh dòng kích từ giữ cho điện áp không đổi.

## § 10.8. SỰ LÀM VIỆC SONG SONG CỦA CÁC MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Các hệ thống điện gồm nhiều máy phát điện đồng bộ làm việc song song với nhau; tạo thành lưới điện. Công suất của lưới điện rất lớn so với công suất mỗi máy riêng rẽ, do đó điện áp cũng như tần số của lưới có thể giữ không đổi, khi thay đổi tải.

Để các máy làm việc song song, phải đảm bảo các điều kiện sau :

1. Điện áp của máy phát phải bằng điện áp của lưới điện và trùng pha nhau.
2. Tần số của máy phát phải bằng tần số của lưới điện.
3. Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới điện.

Nếu không đảm bảo các điều kiện trên, sẽ có dòng điện lớn chạy qua trong máy, phá hỏng máy và gây rối loạn hệ thống điện.

Để đóng máy phát điện vào lưới ta dùng thiết bị hoà đồng bộ.

Đối với máy phát điện công suất nhỏ, có thể đóng vào lưới bằng phương pháp tự đồng bộ như sau : dây quấn kích từ không đóng vào nguồn điện kích từ, mà khép mạch qua điện trở phóng điện, để tránh xuất hiện điện áp cao, phá hỏng dây quấn kích từ. Quay rôto đến gần tốc độ đồng bộ, sau đó đóng máy phát vào lưới và cuối cùng sẽ đóng dây quấn kích từ vào nguồn điện kích từ, máy sẽ làm việc đồng bộ.

## § 10.9. ĐỘNG CƠ ĐIỆN ĐỒNG BỘ

Cấu tạo của động cơ điện đồng bộ giống như của máy phát điện đồng bộ (xem §10.2).

### 10.9.1. Nguyên lý làm việc, phương trình điện áp và đồ thị vectơ

Nguyên lý làm việc của động cơ điện đồng bộ như sau :

Khi ta cho dòng điện ba pha  $i_A, i_B, i_C$  vào ba dây quấn stato, tương tự như động cơ điện không đồng bộ, dòng điện ba pha ở stato sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ  $n_1 = \frac{60f}{p}$ . Ta hình dung từ trường quay stato như một nam châm quay tưởng tượng, vẽ bằng nét đứt trên hình 10.8. Khi cho dòng điện một chiều vào dây quấn rôto, rôto biến thành một nam châm điện.

Tác dụng tương hỗ giữa từ trường stato và từ trường rôto sẽ có lực tác dụng lên rôto. Khi từ trường stato quay với tốc độ  $n_1$ , lực tác dụng ấy sẽ kéo rôto quay với tốc độ  $n = n_1$ . Ví dụ nếu tần số  $f = 50 \text{ Hz}$ , và số đôi cực  $p = 1$ , tốc độ rôto là  $n = \frac{60f}{p} = \frac{60.50}{1} = 3000 \text{ vg/ph}$ .

Nếu trục của rôto nối với một máy nào đó, thì động cơ điện sẽ kéo máy quay với tốc độ  $n$  không đổi.

Sơ đồ thay thế động cơ điện đồng bộ như hình 10.9a. Phương trình điện áp là :

$$\vec{U} = \vec{E}_0 + \vec{I}R + j\vec{I}X_{db} \quad (10.15)$$

Khi bỏ qua điện trở dây quấn stato  $R$  ta có :

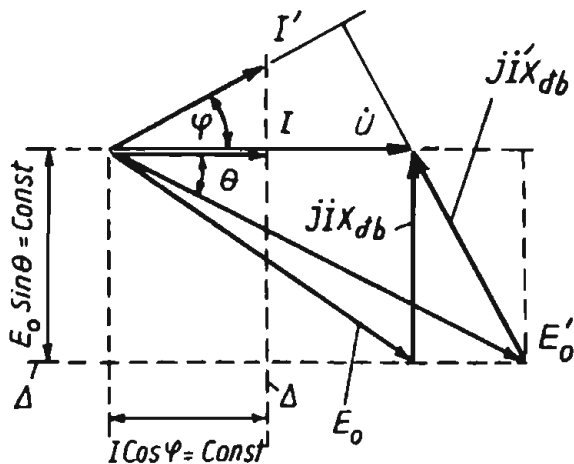
$$\vec{U} = \vec{E}_0 + j\vec{I}X_{db} \quad (10.16)$$

Đồ thị vectơ vẽ trên hình 10.9b.

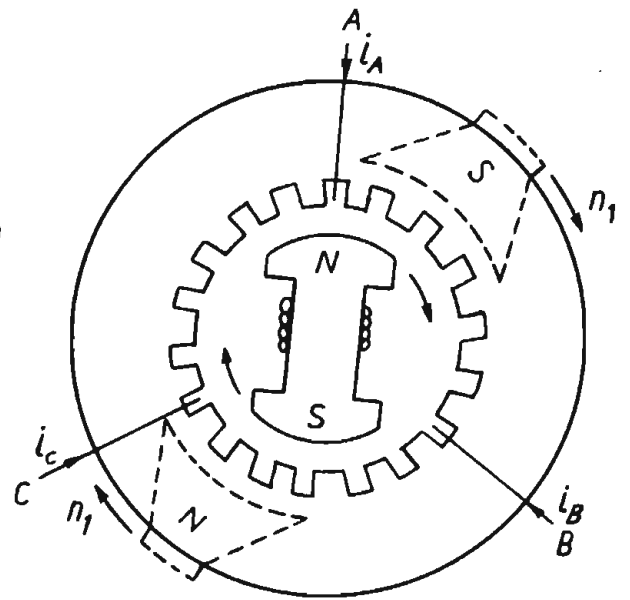
### 10.9.2. Điều chỉnh hệ số công suất $\cos\varphi$ của động cơ điện đồng bộ

Trên hình 10.9b vẽ đồ thị vectơ ứng với trường hợp thiếu kích từ, dòng điện  $I$  chậm pha sau điện áp  $\vec{U}$ . Khi sử dụng người ta không để động cơ làm việc ở chế độ này, vì động cơ tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện, làm cho hệ số công suất lưới điện giảm xuống. Trong công nghiệp, người ta cho làm việc ở chế độ quá kích từ, dòng điện  $I$  vượt trước pha điện áp  $U$ , động cơ vừa tạo ra cơ năng, đồng thời phát ra công suất phản kháng nhằm nâng cao hệ số công suất  $\cos\varphi$  của lưới điện. Đó là ưu điểm rất lớn của động cơ đồng bộ.

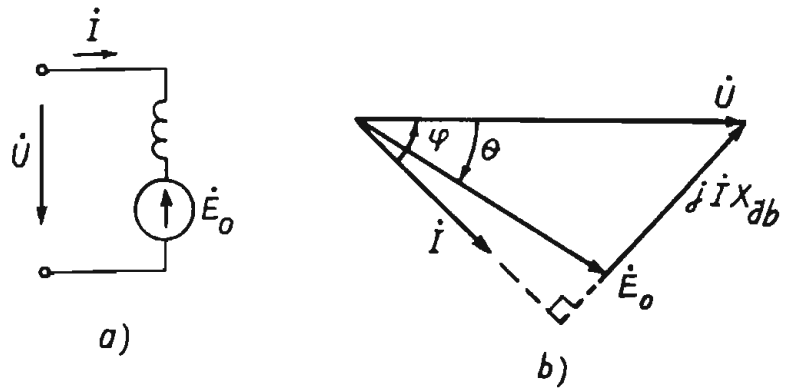
Để thấy rõ sự thay đổi hệ số công suất của động cơ đồng bộ, trên hình 10.10 vẽ đồ thị vectơ cho 2 trường hợp :



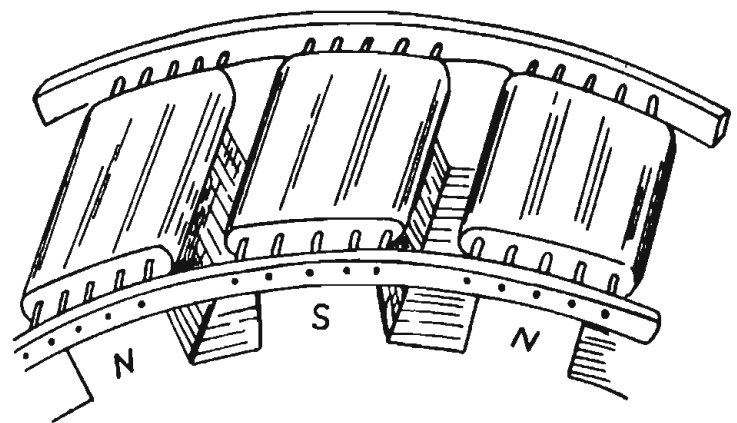
Hình 10.10.



Hình 10.8.



Hình 10.9.



Hình 10.11.

Khi  $\cos\varphi = 1$  ứng với  $E_0, I$  và khi quá kích từ  $\cos\varphi' = 0,9$  (vượt trước) ứng với  $E'_0, I'$ .

Vì  $U, f, P$  không đổi, nên  $I\cos\varphi = \text{const}, E_0\sin\theta = \text{const}$ , khi vẽ cần lưu ý, cuối vectơ  $I$  và  $E$  chạy trên đường  $\Delta$  và  $\Delta'$ .

**10.9.3. Mở máy động cơ điện đồng bộ**

Khi cho dòng điện vào dây quấn stato sẽ tạo nên từ trường quay, kéo rôto quay như hình 10.8. Rôto có quán tính lớn nên vẫn đứng yên, do đó lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay stato và từ trường cực từ thay đổi chiều, rôto không thể quay được. Muốn động cơ làm việc, phải tạo nên mômen mở máy để quay rôto đồng bộ với từ trường quay stato, giữ cho lực tác dụng tương hỗ giữa hai từ trường không đổi chiều.

Để tạo nên mômen mở máy, trên các mặt cực từ rôto, người ta đặt các thanh dẫn, được nối ngắn mạch như lồng sóc ở động cơ không đồng bộ (hình 10.11).

Khi mở máy, nhờ có dây quấn mở máy ở rôto, động cơ sẽ làm việc như động cơ không đồng bộ. Người ta chế tạo các động cơ, có hệ số mở máy  $M_{mở}/M_{dm}$  từ  $0,8 \div 1,0$ .

Trong quá trình mở máy ở dây quấn kích từ sẽ cảm ứng điện áp rất lớn, có thể phá hỏng dây quấn kích từ, vì thế dây quấn kích từ sẽ được khép mạch qua điện trở phóng điện có trị số bằng  $6 \div 10$  lần điện trở dây quấn kích từ. Khi rôto đã quay đến tốc độ gần bằng tốc độ đồng bộ  $n_1$ , đóng nguồn điện một chiều vào dây quấn kích từ, động cơ sẽ làm việc đồng bộ. Với động cơ công suất nhỏ, khi mở máy có thể đóng trực tiếp dây quấn stato vào lưới điện. Với động cơ công suất lớn khoảng  $3 \div 5$  MW, phải hạn chế dòng mở máy bằng cách giảm điện áp đặt vào stato, thường người ta dùng điện kháng hay máy tự biến áp nối vào mạch stato.

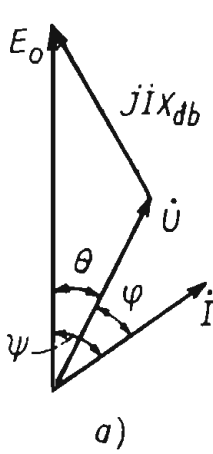
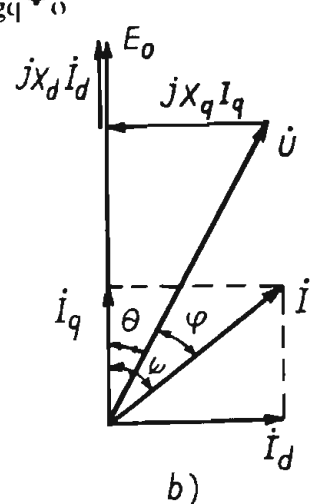
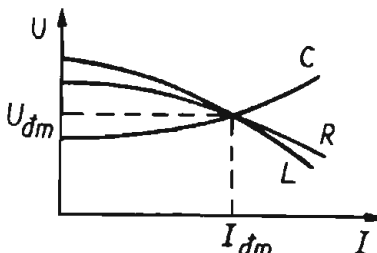
Nhược điểm của động cơ điện đồng bộ là mở máy và cấu tạo phức tạp nên giá thành đắt so với động cơ điện không đồng bộ.

**§ 10.10. CÁC MÁY ĐIỆN ĐỒNG BỘ CÓ CẤU TẠO ĐẶC BIỆT**

Ngoài máy phát và động cơ điện ba pha, ta còn gặp máy phát điện đồng bộ một pha (dùng cung cấp điện cho các tải công suất nhỏ, lưu động) và động cơ đồng bộ một pha, dùng trong hệ tự động và thiết bị điện sinh hoạt. Ngoài máy có dây quấn kích từ, ta còn gặp các máy rôto là nam châm vĩnh cửu hoặc rôto cực lõi không nam châm (động cơ phản kháng). Các loại này thường có công suất nhỏ.

Trong công nghiệp người ta còn dùng động cơ đồng bộ công suất lớn làm việc không tải và dòng điện kích từ điều chỉnh được để cho động cơ phát ra công suất phản kháng hoặc tiêu thụ công suất phản kháng, mục đích để điều chỉnh điện áp lưới điện. Trong trường hợp này máy điện được gọi là máy bù đồng bộ.

Máy bù đồng bộ phát ra công suất phản kháng giống như tụ điện để nâng cao hệ số công suất  $\cos\varphi$  cho lưới điện.

Tốc độ đồng bộ $n_1$	$n = n_1 = \frac{60f}{p}$ vg/ph
Tần số dòng điện stato $f$	$f = \frac{pn}{60}$ (Hz)
Sức điện động pha stato	$E_o = 4,44fw_1k_{gq}\Phi_o$
Phương trình điện áp stato máy cực ẩn $U = E_o - jIX_{dh}$	
Phương trình điện áp stato máy cực lồi $U = E_o - jX_d I_d - jX_q I_q$	
Đồ thị vectơ máy cực ẩn (hình a)	
Đồ thị vectơ máy cực lồi (hình b)	
Công suất điện từ $P_{dt}$	$P_{dt} = \frac{mUE_o}{X_d} \sin\theta + \frac{mU^2}{2} \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$
Điều chỉnh công suất tác dụng P	Điều chỉnh công suất động cơ sơ cấp
Điều chỉnh công suất phản kháng Q	Điều chỉnh dòng kích từ
Đường đặc tính ngoài $U = f(I)$ $I_{kt} = \text{const}$ $n = \text{const}$	
Mở máy động cơ đồng bộ	- Lồng sóc mở máy
Điều chỉnh $\cos\varphi$ động cơ đồng bộ để cải thiện $\cos\varphi$ mạng điện	Điều chỉnh dòng kích từ (quá kích từ)
Máy bù đồng bộ	Điều chỉnh dòng kích từ để điều chỉnh điện áp và $\cos\varphi$ lưới điện

### CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 10

1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy phát điện đồng bộ
2. Mô hình toán của máy phát điện đồng bộ
3. Công suất điện từ của máy điện đồng bộ

4. Đặc tính ngoài và đặc tính điều chỉnh của máy phát điện đồng bộ
5. Nguyên lý làm việc, cách mở máy và điều chỉnh  $\cos\varphi$  của động cơ đồng bộ

### BÀI TẬP CHƯƠNG 10

**Bài số 10.1.**

Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ẩn, dây quấn stato nối sao, điện áp không tải  $U_{do} = 398,4 \text{ V}$ . Khi dòng điện tải  $I = 6 \text{ A}$ ,  $\cos\varphi = 0,8$  (chậm sau) thì điện áp  $U_d = 380 \text{ V}$ . Thông số dây quấn stato như sau : điện trở  $R \approx 0$  ; điện kháng tản  $X_l = 0,2 \Omega$ . Tính sức điện động pha không tải. Tính điện kháng đồng bộ  $X_{db}$  và điện kháng  $X_u$ .

*Bài giải*

Đồ thị véctơ dòng điện và điện áp vẽ trên hình 10.12.

$E_o$  là sức điện động pha không tải. Vì máy nối sao nên

$$E_o = \frac{U_{do}}{\sqrt{3}} = \frac{398,4}{\sqrt{3}} = 230 \text{ V}$$

Từ đồ thị véctơ ta có :

$$IX_{db} = \sqrt{E_{of}^2 - (U_f \cos\varphi)^2} - U_f \sin\varphi = 2,68 \Omega.$$

$$\begin{aligned} X_{db} &= \frac{\sqrt{E_{of}^2 - (U_f \cos\varphi)^2} - U_f \sin\varphi}{I} = \\ &= \frac{\sqrt{230^2 - (220 \cdot 0,8)^2} - 220 \cdot 0,6}{6} = 2,68 \Omega \end{aligned}$$

$$X_u = X_{db} - X_l = 2,68 - 0,2 = 2,48 \Omega.$$

**Bài số 10.2.**

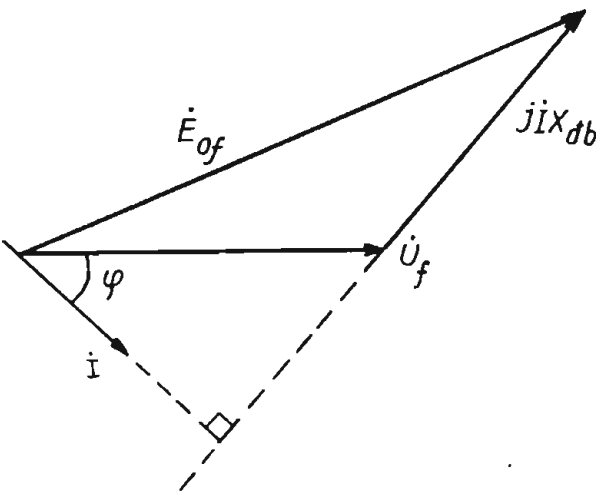
Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ẩn có :  $S_{dm} = 1500 \text{ kVA}$  ;  $U_{dm} = 6600 \text{ V}$  ;  $\cos\varphi_{dm} = 0,8$  ; dây quấn stato đấu sao, điện trở dây quấn stato  $R = 0,45 \Omega$ ; điện kháng đồng bộ  $X_{db} = 6 \Omega$ .

a) Một tải có  $U = 6600 \text{ V}$ ,  $\cos\varphi = 0,8$ , tiêu thụ dòng điện bằng định mức. Tính dòng điện, công suất tác dụng và phản kháng của tải.

b) Nếu cắt tải và dòng điện kích từ chưa điều chỉnh vẫn giữ trị số như lúc có tải trên, thì điện áp đầu cực máy phát bằng bao nhiêu ?

*Bài giải*

a) Dòng điện định mức của máy phát



Hình 10.12.

$$I_{dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{dm}} = \frac{1500.10^3}{\sqrt{3} \cdot 6600} = 131,2 \text{ A.}$$

Điện áp pha máy phát

$$U_{fdm} = \frac{U_{dm}}{\sqrt{3}} = \frac{6600}{\sqrt{3}} = 3810 \text{ V.}$$

Công suất tác dụng tải tiêu thụ

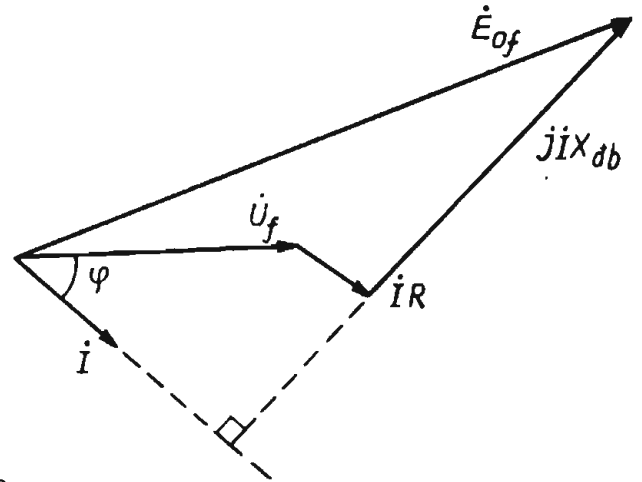
$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3}UI\cos\varphi = \\ &= \sqrt{3}.6600.131,2.0,8 = 1200 \text{ kW.} \end{aligned}$$

Công suất phản kháng tải tiêu thụ

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{3}UI\sin\varphi \\ &= \sqrt{3}.6600.131,2.0,6 = 900 \text{ kVAr.} \end{aligned}$$

Đồ thị vectơ vẽ trên hình 10.13.

b) Dựa vào đồ thị vectơ ta tính được sức điện động pha



Hình 10.13.

$$\begin{aligned} E_{of} &= \sqrt{(U_f\cos\varphi + IR)^2 + (IX_{db} + U_f\sin\varphi)^2} \\ &= \sqrt{(3810.0,8 + 131,2.0,45)^2 + (131,2.6 + 3810.0,6)^2} = 4370 \text{ V.} \end{aligned}$$

Điện áp dây đầu cực máy phát khi cắt tải :

$$U_o = \sqrt{3}E_{of} = \sqrt{3}.4370 = 7659 \text{ V.}$$

### Bài số 10.3.

Một máy phát điện đồng bộ ba pha cực ẩn đầu sao,  $S_{dm} = 10.000 \text{ kVA}$  ;  $U_{dm} = 6,3 \text{ kV}$  ;  $f = 50 \text{ Hz}$  ;  $\cos\varphi_{dm} = 0,8$  ; số đôi cực  $p = 2$  ; điện trở dây quấn stato  $R = 0,04 \Omega$  ; điện kháng đồng bộ  $X_{db} = 1 \Omega$  ; tổn hao kích từ  $\Delta P_{kt} = 2\% P_{dm}$ , tổn hao cơ, sắt từ và phụ  $\Delta P_{cstf} = 2,4\% P_{dm}$ .

a) Tính tốc độ quay rôto, dòng điện định mức

b) Tính công suất tác dụng và phản kháng máy phát ra. Công suất động cơ sơ cấp kéo máy phát và hiệu suất máy phát.

Bài giải

a) Tốc độ quay rôto :

$$n = n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60.50}{2} = 1500 \text{ vg/ph.}$$

Dòng điện định mức

$$I_{dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{dm}} = \frac{10.000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 916,5 \text{ A.}$$

b) Công suất tác dụng máy phát ra

$$P_{dm} = S_{dm}\cos\varphi_{dm} = 10000.0,8 = 8000 \text{ kW.}$$



Công suất phản kháng máy phát ra

$$Q_{dm} = S_{dm} \sin\varphi_{dm} = 10000 \cdot 0,6 = 6000 \text{ kVAr.}$$

Tổn hao kích từ

$$\Delta P_{kt} = 0,02P_{dm} = 0,02 \cdot 8000 = 160 \text{ kW.}$$

Tổng tổn hao cơ, sắt từ và phụ

$$\Delta P_{cstf} = 0,024P_{dm} = 0,024 \cdot 8000 = 192 \text{ kW.}$$

Tổn hao trên điện trở dây quấn phần ứng

$$\Delta P_d = 3 \cdot 916,5^2 \cdot 0,04 = 100,8 \text{ kW.}$$

Công suất động cơ sơ cấp

$$P_1 = P_{dm} + P_{kt} + P_{cstf} + \Delta P_d =$$

$$P_1 = 8000 + 160 + 192 + 100,8 = 8452,8 \text{ kW.}$$

$$\eta = \frac{P_{dm}}{P_1} = \frac{8000}{8452,8} = 0,946.$$

#### Bài số 10.4.

Hai máy phát điện đồng bộ làm việc song song cung cấp điện cho 2 tải :

Tải 1 :  $S_{t1} = 5000 \text{ kVA} ; \cos\varphi_1 = 0,8$

Tải 2 :  $S_{t2} = 3000 \text{ kVA} ; \cos\varphi_2 = 1.$

Máy phát thứ nhất phát ra  $P_1 = 4000 \text{ kW}$ ,  $Q_1 = 2500 \text{ kVAr}$ . Tính công suất máy phát thứ 2 và hệ số công suất của mỗi máy phát.

*Bài giải*

Công suất tác dụng của 2 tải :

$$P_t = S_{t1}\cos\varphi_1 + S_{t2}\cos\varphi_2 = 5000 \cdot 0,8 + 3000 \cdot 1 = 7000 \text{ kW.}$$

Công suất phản kháng của 2 tải :

$$Q_t = S_{t1}\sin\varphi_1 + S_{t2}\sin\varphi_2 = 5000 \cdot 0,6 + 0 = 3000 \text{ kVAr.}$$

Công suất tác dụng máy phát 2

$$P_2 = P_t - P_1 = 7000 - 4000 = 3000 \text{ kW.}$$

Công suất phản kháng máy phát 2

$$Q_2 = Q_t - Q_1 = 3000 - 2500 = 500 \text{ kVAr.}$$

Hệ số công suất máy phát 1

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} = \frac{4000}{\sqrt{4000^2 + 2500^2}} = 0,848.$$

Hệ số công suất máy phát 2

$$\cos\varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{3000}{\sqrt{3000^2 + 500^2}} = 0,986.$$

### Bài số 10.5.

Một động cơ điện đồng bộ ba pha đấu sao có thông số  $P_{dm} = 575 \text{ kW}$ ,  $U_{dm} = 6000 \text{ V}$ ;  $\eta = 0,95$ ;  $\cos\varphi_{dm} = 1$ ;  $p = 3$ ;  $f = 50 \text{ Hz}$ .

a) Tính mômen quay định mức, dòng điện định mức.

b) Nếu mômen cản chỉ đạt 75%  $M_{dm}$  thì công suất phản kháng tối đa động cơ có thể bù cho mạng điện là bao nhiêu? Muốn đạt điều đó phải làm thế nào?

*Bài giải*

a) Tốc độ quay rôto

$$n = n_1 = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ vg/ph}$$

Mômen định mức

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}}{\omega_{dm}} = \frac{575 \cdot 10^3}{\frac{2\pi n}{60}} = 5491 \text{ Nm.}$$

Dòng điện định mức

$$I_{dm} = \frac{P_{dm}}{\eta_{dm} \sqrt{3} U_{dm} \cos\varphi_{dm}} = \frac{575 \cdot 10^3}{0,95 \cdot \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 1} = 58,2 \text{ A.}$$

Công suất biểu kiến động cơ

$$S_{dm} = \sqrt{3} U_{dm} I_{dm} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 58,2 = 605 \text{ kVA.}$$

b) Khi dòng điện định mức, công suất điện động cơ tiêu thụ.

$$P_{ldm} = \frac{P_{dm}}{\eta_{dm}} = \frac{575}{0,95} = 605 \text{ kW.}$$

Khi dòng điện bằng định mức, tổn hao của động cơ coi gần đúng là không đổi.

$$\Delta P = 605 - 575 = 30 \text{ kW.}$$

Cơ năng động cơ phát ra khi mômen cản bằng 75% định mức

$$P_{co} = 0,75 \cdot P_{dm} = 0,75 \cdot 575 = 431 \text{ kW.}$$

Công suất tác dụng động cơ điện nhận ở mạng điện

$$P_1 = P_{co} + \Delta P = 431 + 30 = 461 \text{ kW.}$$

Công suất phản kháng động cơ điện có khả năng phát ra

$$Q_{max} = \sqrt{S_{dm}^2 - P_1^2} = \sqrt{605^2 - 461^2} = 391,8 \text{ kVar.}$$

Muốn tăng công suất phản kháng, phải tăng dòng điện kích từ động cơ điện.

### Bài số 10.6.

Một nhà máy tiêu thụ công suất điện  $P_1 = 700 \text{ kW}$  với  $\cos\varphi = 0,7$ . Nhà máy có thêm một tải cơ với công suất cơ  $100 \text{ kW}$ . Để kéo tải và kết hợp nâng cao  $\cos\varphi$  người ta chọn một động cơ đồng bộ có hiệu suất  $\eta = 0,88$ . Xác định công suất biểu kiến  $S_{dm}$  của động cơ đồng bộ để nâng hệ số công suất nhà máy đạt 0,8.

### Bài giải

Công suất điện động cơ đồng bộ tiêu thụ

$$P_d = \frac{P_{cđ}}{\eta} = \frac{100}{0,88} = 113,6 \text{ kW}$$

$$\cos\varphi = 0,7 ; \quad \operatorname{tg}\varphi = 1,02$$

Công suất phản kháng trước khi có động cơ đồng bộ

$$Q_l = P_l \operatorname{tg}\varphi = 700 \cdot 1,02 = 714 \text{ kVAr.}$$

Khi có động cơ đồng bộ, hệ số công suất nhà máy  $\cos\varphi' = 0,8$ ,  $\operatorname{tg}\varphi' = 0,75$ .

Công suất tác dụng của nhà máy khi có động cơ đồng bộ

$$P_\Sigma = P_l + P_d = 700 + 113,6 = 813,6 \text{ kW}$$

Công suất phản kháng khi có động cơ đồng bộ

$$Q_\Sigma = P_\Sigma \operatorname{tg}\varphi' = 813,6 \cdot 0,75 = 610 \text{ kVAr.}$$

Công suất phản kháng động cơ đồng bộ

$$Q_d = Q_\Sigma - Q_l = 610 - 714 = -104 \text{ kVAr.}$$

Dấu âm chứng tỏ động cơ đồng bộ phát ra công suất phản kháng.

Công suất biểu kiến động cơ đồng bộ

$$S_d = \sqrt{P_d^2 + Q_d^2} = \sqrt{113,6^2 + 104^2} = 154 \text{ kVA.}$$

Vậy phải chọn động cơ có dung lượng định mức:

$$S_{dm} \geq 154 \text{ kVA.}$$

## BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ CHƯƠNG 10

### Bài số 10.7

Máy phát đồng bộ cực ẩn nối Y,  $S_{dm} = 23\text{kVA}$ , 220/127V, 1500 v/ph, 50Hz.

Đặc tính không tải

$I_{kt}(\text{A})$	1	2	3,5	7	8	10	15
$U_d(\text{V})$	86,6	160	214	260	268	278	291

Đặc tính ngắn mạch qua điểm  $I_{kt} = 6\text{A}$ ,  $I_{ngắn} = 60\text{A}$ .

Khi tải thuần cảm người ta đo được  $U = 216,5\text{V}$ ,  $I = 50\text{A}$ ,  $I_{kt} = 11,5\text{A}$

Điện trở dây quấn phần ứng  $R = 0,19\Omega$

Tính điện kháng tản và vẽ đồ thị vectơ điện áp.

Tính dòng điện kích từ để phát dòng điện  $I = 60\text{A}$  với  $\cos\varphi = 0,8$ ,  $U_d = 220\text{V}$ .

Đáp số:  $X = 0,5\Omega$ ,  $I_{kt} = 12,4\text{A}$

### Bài số 10.8

Máy điện đồng bộ như bài số 10.7 làm việc ở chế độ động cơ. Tính: a) Điện kháng đồng bộ ứng với kích từ 10A.

b) Khi làm việc như máy bù đồng bộ (giả thiết hoàn toàn không tải) xác định dòng điện phát vào lưới khi dòng điện kích từ  $I_{kt} = 10\text{A}$ .

c) Tính điện dung của bộ tụ điện nối tam giác có vai trò tương tự máy bù đồng bộ khi phát cùng một công suất phản kháng.

Đáp số: a)  $x_{db} = 1,6\Omega$  ; b)  $I = 20,6\text{A}$  ; c)  $C = 172\mu\text{F}$

### Bài số 10.9

Máy điện đồng bộ ba pha,  $2p = 4$ ,  $f = 50\text{Hz}$  có đặc tính sau:

$S_{dm} = 10\text{kVA}$ ,  $U_{dm} = 220\text{V}$ ,  $X_{db} = 4,5\Omega$ , khi  $U = 220\text{V}$  (không tải) thì  $I_{kt} = 4,6\text{A}$ .

a) Vẽ đồ thị vectơ điện áp của máy phát điện cực ẩn.

b) Máy điện làm việc như động cơ cung cấp công suất cơ 8,5kW. Tính  $E$  và  $I_{kt}$  để có  $\varphi = -30^\circ$  và  $\varphi = +30^\circ$ .

Đáp số: a)  $\varphi = -30^\circ$ ,  $E = 211\text{V}$ ,  $I_{kt} = 7,6\text{A}$ ,  $\psi = -58^\circ$ ,  $\delta = 28^\circ$

b)  $\varphi = 30^\circ$ ,  $E = 120\text{V}$ ,  $I_{kt} = 4,3\text{A}$ ,  $\psi = -28^\circ$ ,  $\delta = 58^\circ$

## Chương 11

# MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Ngày nay, mặc dù dòng điện xoay chiều được sử dụng rất rộng rãi, song máy điện một chiều vẫn tồn tại, đặc biệt là động cơ một chiều.

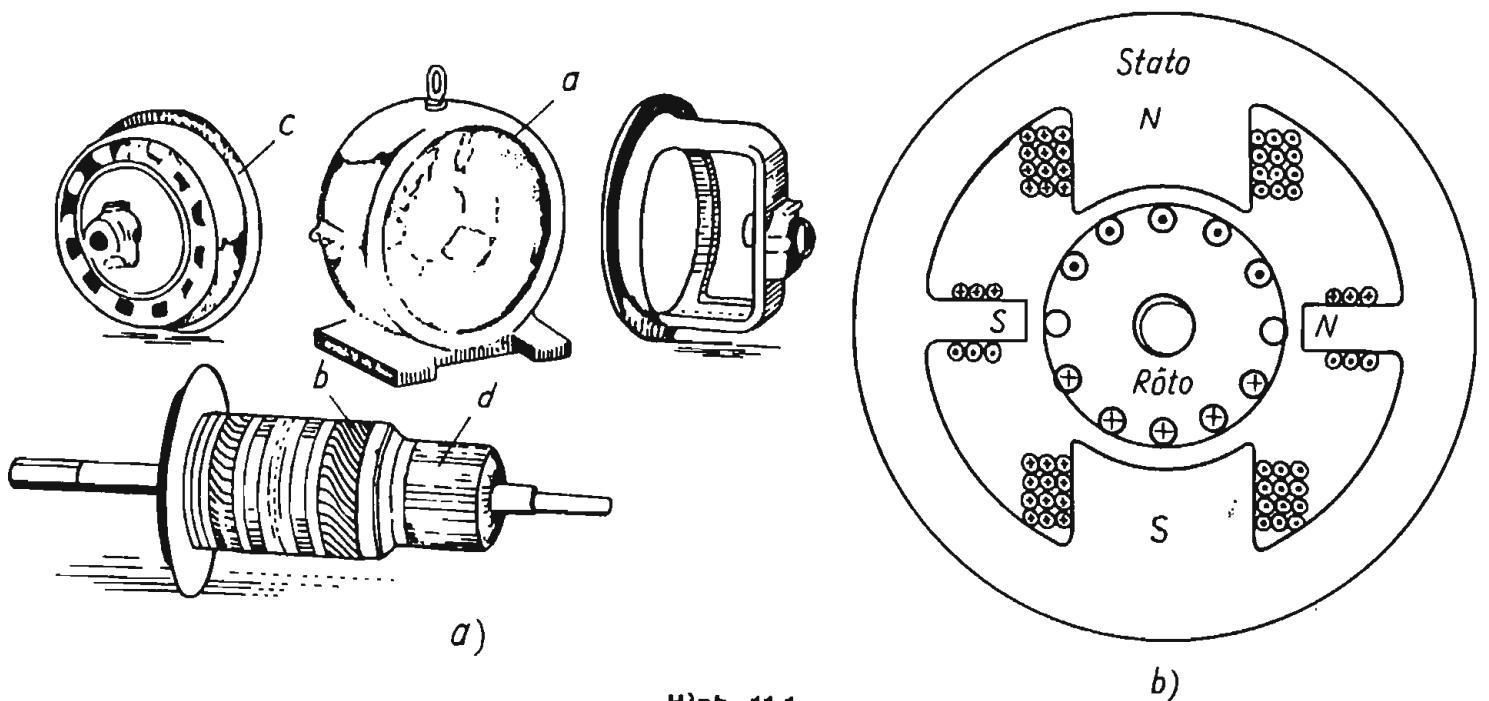
Trong công nghiệp, động cơ điện một chiều được sử dụng ở những nơi yêu cầu mômen mở máy lớn hoặc yêu cầu điều chỉnh tốc độ bằng phẳng và phạm vi rộng.

Trong các thiết bị tự động, các máy điện khuếch đại, các động cơ chấp hành cũng là máy điện một chiều. Ngoài ra, các máy điện một chiều còn thấy trong các thiết bị ô tô, tàu thủy, máy bay, các máy phát điện một chiều điện áp thấp dùng trong các thiết bị điện hóa, thiết bị hàn điện có chất lượng cao.

Nhược điểm chủ yếu của máy điện một chiều là có cấu tạo phức tạp, đắt tiền và kém tin cậy, nguy hiểm trong môi trường dễ nổ. Khi sử dụng động cơ một chiều, cần phải có nguồn điện một chiều kèm theo (bộ chỉnh lưu hay máy phát điện một chiều).

### § 11.1. CẤU TẠO MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

Những phần chính của máy điện một chiều gồm stato với cực từ, rôto với dây quấn và cổ góp với chổi điện.



Hình 11.1.

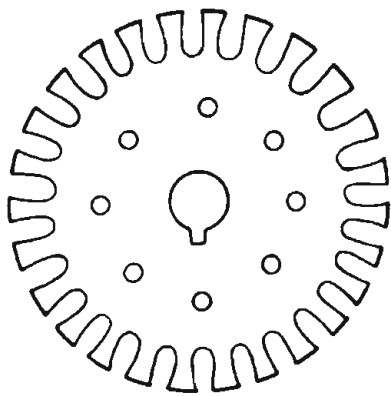
Trên hình 11.1a vẽ stato (a), rôto (b), nắp (c, f), cổ góp (d). Trên hình 11.1b vẽ mặt cắt ngang trục.

11.1.1. Stato

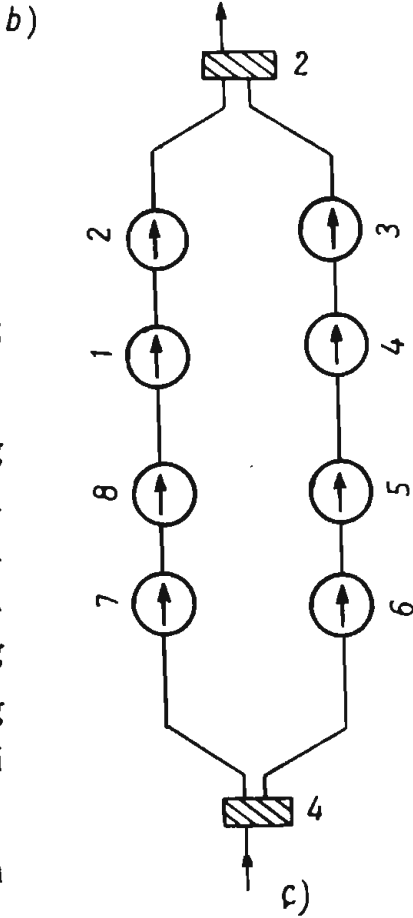
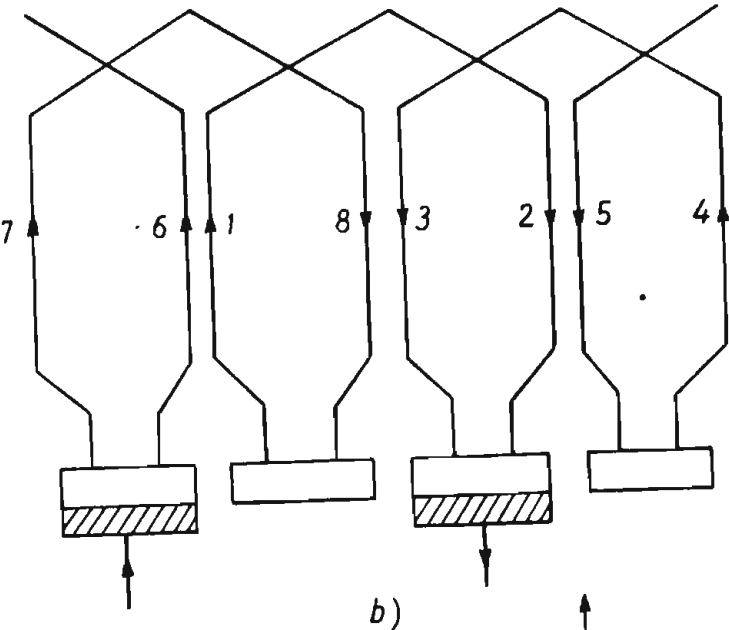
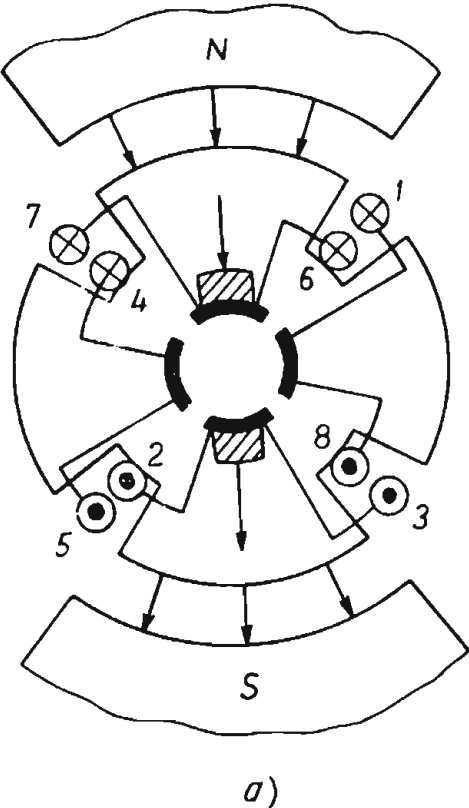
Stato còn gọi là phần cảm, gồm lõi thép bằng thép đúc, vừa là mạch từ vừa là vỏ máy. Các cực từ chính có dây quấn kích từ (hình 11.1b).

11.1.2. Rôto

Rôto của máy điện một chiều được gọi là phần ứng, gồm lõi thép và dây quấn phần ứng. Lõi thép hình trụ,



Hình 11.2.



Hình 11.3.

làm bằng các lá thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm, phủ sơn cách điện ghép lại. Các lá thép được dập có lỗ thông gió và rãnh để đặt dây quấn phần ứng (hình 11.2).

Mỗi phần tử của dây quấn phần ứng có nhiều vòng dây, hai đầu với hai phiên góp, hai cạnh tác dụng của phần tử dây quấn đặt trong hai rãnh dưới hai cực khác tên. Hình 11.3a, b vẽ bốn phần tử dây quấn xếp hai lớp. Mỗi phần tử chỉ có một vòng, các phần tử được nối thành mạch vòng khép kín. Ở dây quấn xếp đơn số nhánh song song bằng số cực từ. Dây quấn trên hình vẽ có hai cực từ và có hai nhánh song song (hình 11.3c).

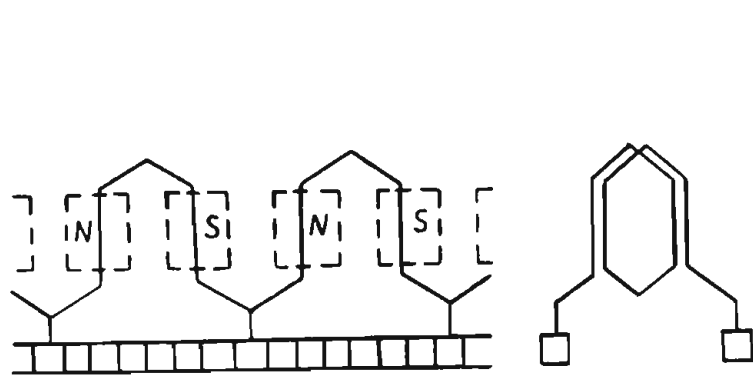
Ngoài dây quấn xếp, ở máy điện một chiều còn kiểu dây quấn sóng. Hình 11.4 vẽ hai phần tử dây quấn kiểu

sóng. Các phần tử được nối thành mạch vòng kín. Ở đây quần sóng đơn chỉ có hai mạch nhánh song song, thường thấy ở máy có công suất nhỏ.

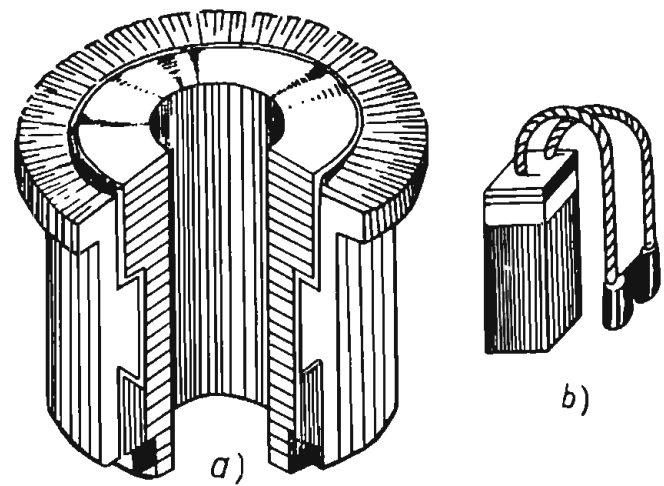
11.1.3. Cổ góp và chổi điện

Cổ góp gồm các phiến góp bằng đồng được ghép cách điện, có dạng hình trụ, gắn ở đầu trục rôto. Hình 11.5a vẽ mặt cắt cổ góp để thấy rõ hình dáng của phiến góp. Các đầu dây của phần tử nối với phiến góp.

Chổi điện (chổi than) làm bằng than graphit hình 11.5b. Các chổi tỳ chặt lên cổ góp nhờ lò xo và giá chổi điện gắn trên nắp máy.



Hình 11.4.



Hình 11.5.

§ 11.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA MÁY PHÁT VÀ ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

11.2.1. Nguyên lý làm việc và phương trình điện áp máy phát điện một chiều

Hình 11.6 mô tả nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều, trong đó dây quần phần ứng chỉ có một phần tử nối với hai phiến đổi chiều.

Khi động cơ sơ cấp quay phần ứng, các thanh dẫn của dây quần phần ứng cắt từ trường của cực từ, cảm ứng các sức điện động. Chiều sđđ xác định theo quy tắc bàn tay phải. Như hình 11.6, từ trường hướng từ cực N đến S (từ trên xuống dưới), chiều quay phần ứng ngược chiều kim đồng hồ, ở thanh dẫn phía trên, sđđ có chiều từ b đến a. Ở thanh dẫn phía dưới, chiều sđđ từ d đến c. Sđđ của phần tử bằng hai lần sđđ của thanh dẫn. Nếu nối hai chổi điện A và B với tải, trên tải sẽ có dòng điện chiều từ A đến B. Điện áp của máy phát điện có cực dương ở chổi A và âm ở chổi B.

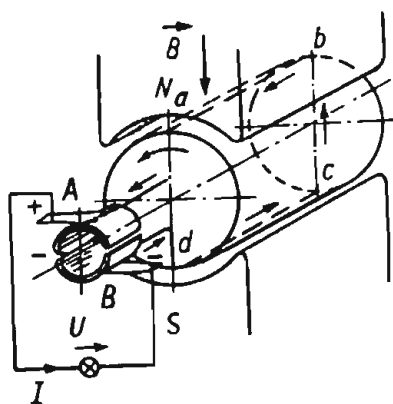
Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí của phần tử thay đổi, thanh ab ở cực S, thanh dc ở cực N, sđđ trong thanh dẫn đổi chiều. Nhờ có chổi điện đứng yên, chổi điện A vẫn nối với phiến góp phía trên, chổi B nối với phiến góp phía dưới, nên chiều dòng điện ở mạch ngoài không đổi. Ta có máy phát điện một chiều với cực dương ở chổi A, cực âm ở chổi B.

Nếu máy chỉ có một phần tử, điện áp đầu cực như hình 11.7a. Để điện áp lớn và ít đập mạnh (hình 11.7b), dây quấn phải có nhiều phần tử, nhiều phiên đổi chiều.

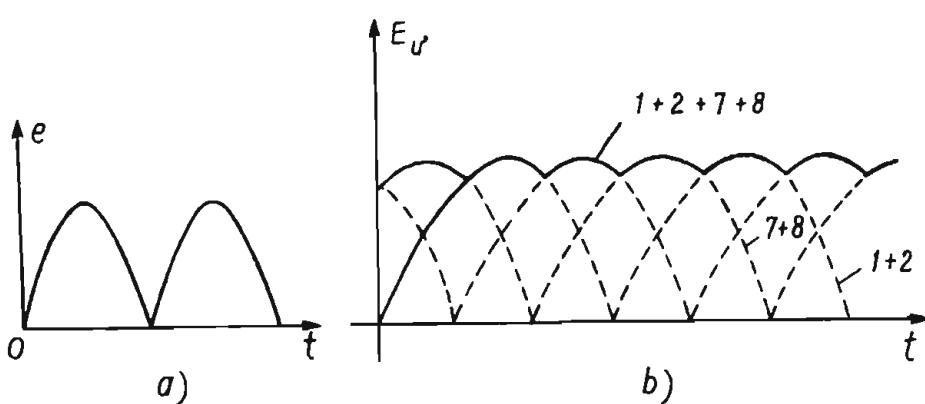
Ở chế độ máy phát, dòng điện phần ứng  $I_u$  cùng chiều với sđđ phần ứng  $E_u$ . Phương trình điện áp là :

$$U = E_u - R_u I_u , \tag{11.1}$$

trong đó  $R_u I_u$  là điện rơi trong dây quấn phần ứng,  $R_u$  là điện trở của dây quấn phần ứng,  $U$  là điện áp đầu cực máy;  $E_u$  là sức điện động phần ứng.



Hình 11.6.

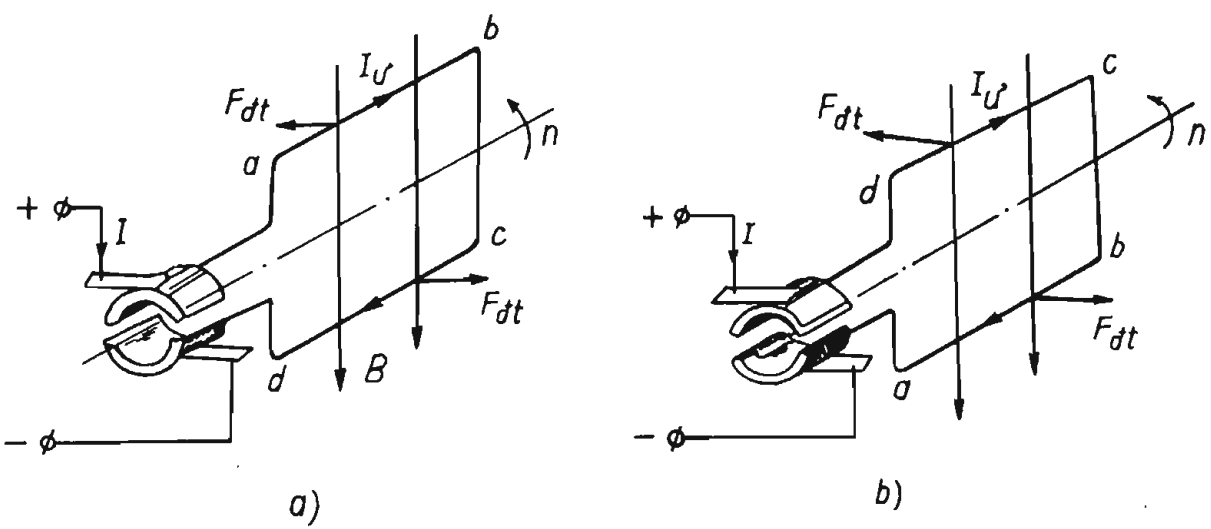


Hình 11.7.

### 11.2.2. Nguyên lý làm việc và phương trình điện áp của động cơ điện một chiều

Hình 11.8 mô tả nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều. Khi cho điện áp một chiều  $U$  vào hai chổi điện A và B, trong dây quấn phần ứng có dòng điện  $I_u$ . Các thanh dẫn ab, cd có dòng điện nằm trong từ trường, sẽ chịu lực  $F_{dt}$  tác dụng làm cho rôto quay. Chiều lực xác định theo qui tắc bàn tay trái, hình 11.8a.

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí các thanh dẫn ab, cd đổi chỗ nhau, do có phiên góp đổi chiều dòng điện, giữ cho chiều lực tác dụng không đổi, đảm bảo động cơ có chiều quay không đổi, hình 11.8b.



Hình 11.8.



Khi động cơ quay, các thanh dẫn cắt từ trường, sẽ cảm ứng sđđ  $E_u$ . Chiều sđđ xác định theo qui tắc bàn tay phải. Ở động cơ chiều sđđ  $E_u$  ngược chiều với dòng điện  $I_u$ , nên  $E_u$  còn được gọi là sức phản điện.

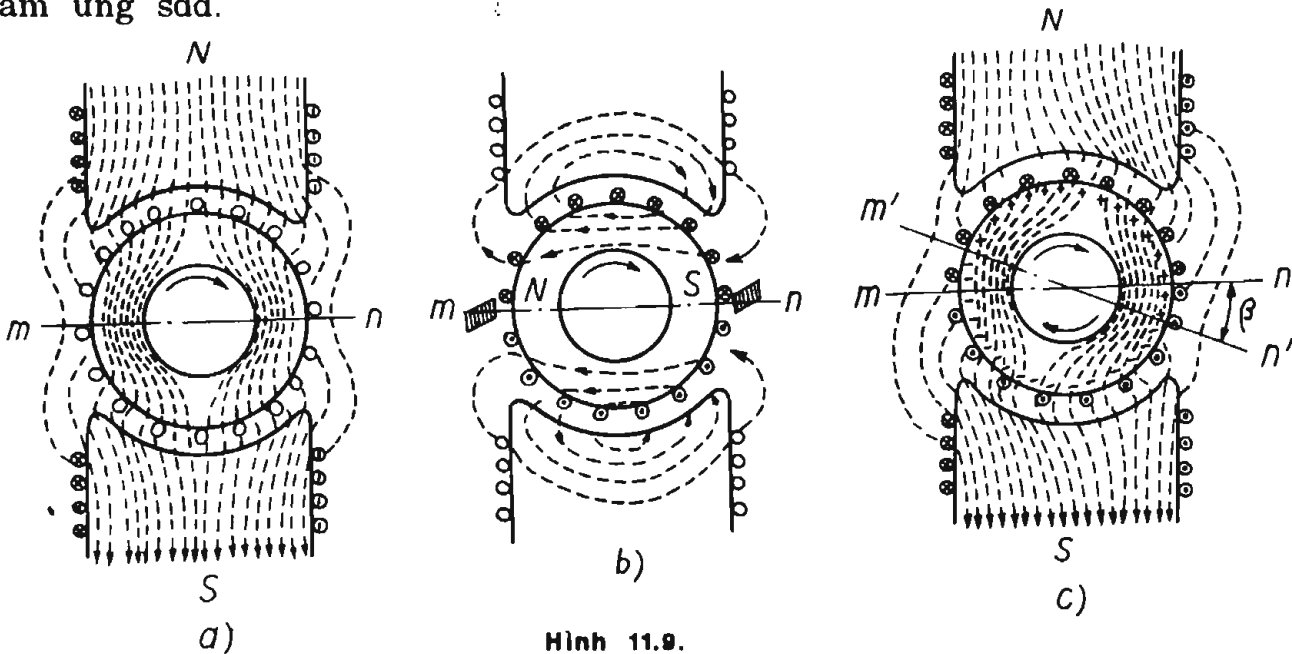
Phương trình điện áp sẽ là :

$$U = E_u + R_u I_u . \tag{11.2}$$

## § 11.3. TỪ TRƯỜNG VÀ SỨC ĐIỆN ĐỘNG CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 11.3.1. Từ trường và sức điện động của máy điện một chiều

Khi máy điện một chiều không tải, từ trường trong máy chỉ do dòng điện kích từ gây ra gọi là từ trường cực từ. Trên hình 11.9a vẽ từ trường cực từ. Từ trường cực từ phân bố đối xứng, ở trung tính hình học mn thanh dẫn chuyển động qua đó không cảm ứng sđđ.



Hình 11.9.

Khi máy điện có tải, dòng điện  $I_u$  trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra từ trường phản ứng (hình 11.9b). Từ trường phản ứng hướng vuông góc với từ trường cực từ.

Tác dụng của từ trường phản ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng, từ trường trong máy là từ trường tổng hợp của từ trường cực từ và từ trường phản ứng (hình 11.9c). Trên hình (11.9c) vẽ từ trường tổng hợp. Ở một móm cực, từ trường được tăng cường (ở đó từ trường phản ứng trùng chiều với từ trường cực từ), trong khi đó ở móm cực kia, từ trường bị yếu đi (ở đó từ trường phản ứng ngược chiều với từ trường cực từ).

Hậu quả của phản ứng phần ứng là :

a) Từ trường trong máy bị biến dạng. Điểm trung tính dịch chuyển từ trung tính hình học mn đến vị trí mới gọi là trung tính vật lý m'n'. Góc lệch  $\beta$  thường nhỏ và lệch theo chiều quay rôto khi là máy phát điện, và ngược chiều quay rôto

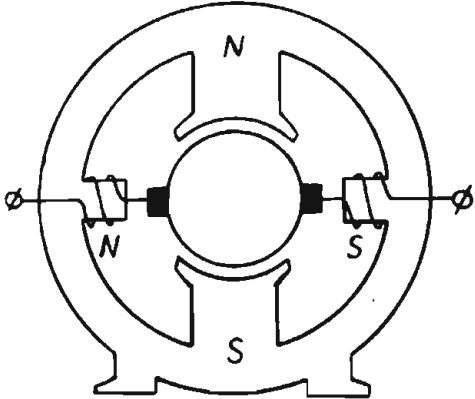
khi là động cơ điện. Ở vị trí trung tính hình học, từ cảm  $B \neq 0$ , thanh dẫn chuyển động qua đó sẽ cảm ứng sđđ, gây ảnh hưởng xấu đến việc đổi chiều (sẽ xét ở tiết 11.5).

b) Khi tải lớn, dòng điện phần ứng lớn, từ trường phản ứng lớn, phần mòm cực từ trường được tăng cường bị bão hòa, từ cảm  $B$  ở đó tăng lên được rất ít, trong khi đó, mòm cực kia từ trường giảm đi nhiều, kết quả là từ thông của máy bị giảm xuống. Từ thông giảm kéo theo sức điện động phần ứng  $E_u$  giảm, làm cho điện áp đầu cực máy phát  $U$  giảm. Ở chế độ động cơ, từ thông giảm làm cho mômen quay giảm, và tốc độ động cơ thay đổi.

Để khắc phục hậu quả trên người ta dùng cực từ phụ và dây quấn bù.

Từ trường của cực từ phụ và dây quấn bù ngược với từ trường phần ứng.

Để kịp thời khắc phục từ trường phần ứng khi tải thay đổi, dây quấn cực từ phụ và dây quấn bù đấu nối tiếp với mạch phần ứng (hình 11.10).



Hình 11.10.

11.3.2. Sức điện động phần ứng

a) *Sức điện động thanh dẫn*

Khi quay rôto, các thanh dẫn của dây quấn phần ứng cắt từ trường, trong mỗi thanh dẫn cảm ứng sức điện động là :

$$e = B_{th}lv \tag{11.3}$$

trong đó :  $B_{th}$  - từ cảm trung bình dưới cực từ  
 $v$  - tốc độ của thanh dẫn  
 $l$  - chiều dài hiệu dụng thanh dẫn.

b) *Sức điện động phần ứng  $E_u$*

Dây quấn phần ứng gồm nhiều phần tử nối tiếp nhau thành mạch vòng kín. Các chổi điện chia dây quấn thành nhiều nhánh song song. Sức điện động phần ứng bằng tổng các sức điện động thanh dẫn trong một nhánh. Nếu số thanh dẫn của dây quấn là  $N$ , số nhánh song song là  $2a$  ( $a$  là số đôi nhánh), số thanh dẫn một nhánh là  $\frac{N}{2a}$ , sức điện động phần ứng là :

$$E_u = \frac{N}{2a} e = \frac{N}{2a} B_{th}lv \tag{11.4}$$

Tốc độ dài  $v$  xác định theo tốc độ quay  $n$  (v/ph) bằng công thức

$$v = \frac{\pi Dn}{60} \tag{11.5}$$

Thay (11.5) vào (11.4) và chú ý rằng, từ thông  $\Phi$  dưới mỗi cực từ là :

$$\Phi = B_{tb} \frac{\pi D l}{2p} \quad (11.6)$$

cuối cùng ta có :  $E_u = \frac{pN}{60a} n\Phi$  (11.7a)

hoặc  $E_u = k_E n\Phi$  (11.7b)

trong đó  $p$  : số đôi cực.

Hệ số  $k_E = \frac{pN}{60a}$  phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn phần ứng.

Sức điện động phần ứng tỷ lệ với tốc độ quay phần ứng và từ thông dưới mỗi cực từ. Muốn thay đổi trị số sức điện động, ta có thể điều chỉnh tốc độ quay, hoặc điều chỉnh từ thông, bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ. Muốn đổi chiều sức điện động thì hoặc đổi chiều quay, hoặc đổi chiều dòng điện kích từ.

## § 11.4. CÔNG SUẤT ĐIỆN TỪ, MÔMEN ĐIỆN TỪ CỦA MÁY ĐIỆN MỘT CHIỀU

Công suất điện từ của máy điện một chiều

$$P_{dt} = E_u I_u \quad (11.8)$$

Thay giá trị  $E_u$  trong (11.7a) vào (11.8) ta có :

$$P_{dt} = \frac{pN}{60a} n\Phi I_u \quad (11.9)$$

Mômen điện từ là :

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_r}, \quad (11.10)$$

$\omega_r$  là tốc độ góc quay của rôto, được tính theo tốc độ quay  $n$ (vg/ph) bằng biểu thức :

$$\omega_r = \frac{2\pi n}{60}, \quad (11.11)$$

thay (11.11) vào (11.10), cuối cùng ta có biểu thức của mômen điện từ là :

$$M_{dt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \Phi \quad (11.12a)$$

hoặc  $M_{dt} = k_M I_u \Phi$  (11.12b)

trong đó hệ số  $k_M = \frac{pN}{2\pi a}$  phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn.

Mômen điện từ tỷ lệ với dòng điện phần ứng  $I_u$  và từ thông. Muốn thay đổi mômen điện từ, ta phải thay đổi dòng điện phần ứng  $I_u$  hoặc thay đổi dòng điện kích từ  $I_{kt}$ . Muốn đổi chiều mômen điện từ phải đổi chiều hoặc dòng điện phần ứng hoặc dòng điện kích từ.

## § 11.5. TIA LỬA ĐIỆN TRÊN CỔ GÓP VÀ BIỆN PHÁP KHẮC PHỤC

Khi máy điện làm việc, quá trình đổi chiều thường gây ra tia lửa giữa chổi điện và cổ góp. Tia lửa lớn có thể gây nên vành lửa xung quanh cổ góp, phá hỏng chổi điện và cổ góp, gây tổn hao năng lượng, ảnh hưởng xấu đến môi trường và gây nhiễu đến sự làm việc của các thiết bị điện tử. Sự phát sinh tia lửa trên cổ góp do các nguyên nhân cơ khí và điện từ.

### 11.5.1. Nguyên nhân cơ khí

Sự tiếp xúc giữa cổ góp và chổi điện không tốt, do cổ góp không tròn, không nhẵn, chổi than không đúng qui cách, rung động của chổi than do cổ định không tốt hoặc lực lò xo không đủ để tỳ sát chổi điện vào cổ góp.

### 11.5.2. Nguyên nhân điện từ

Khi rôto quay liên tiếp có phần tử chuyển mạch nhánh này sang mạch nhánh khác. Ta gọi các phần tử ấy là phần tử đổi chiều. Trong phần tử đổi chiều xuất hiện các sức điện động sau :

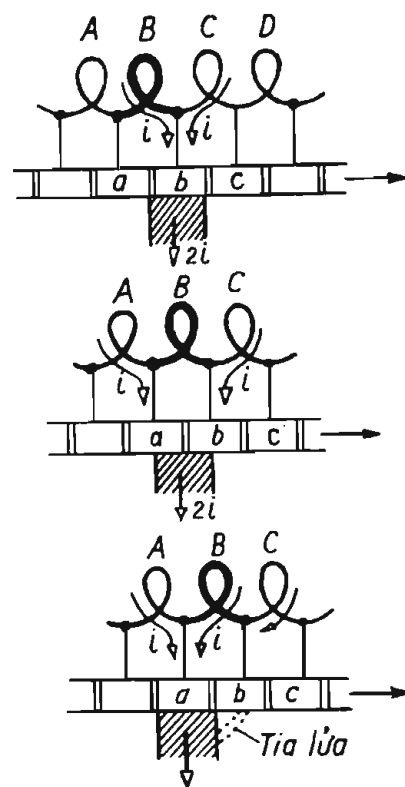
a) Sức điện động tự cảm  $e_L$ , do sự biến thiên dòng điện trong phần tử đổi chiều.

b) Sức điện động hồ cảm  $e_m$ , do sự biến thiên dòng điện của các phần tử đổi chiều khác lân cận.

c) Sức điện động  $e_q$  do từ trường của phần ứng gây ra.

Ở thời điểm chổi điện ngắn mạch phần tử đổi chiều (hình 9.11), các sức điện động trên sinh ra dòng điện  $i$  chạy quanh trong phần tử ấy, tích lũy năng lượng và phóng ra dưới dạng tia lửa khi vành góp chuyển động.

Để khắc phục tia lửa, ngoài việc loại trừ nguyên nhân cơ khí ta phải tìm cách giảm trị số các sức điện động trên và dùng cực từ phụ và dây quấn bù để tạo nên trong phần tử đổi chiều các sức điện động nhằm bù (triệt tiêu) tổng 3 sức điện động  $e_L$ ,  $e_M$  và  $e_q$ . Từ trường của dây quấn bù và cực từ phụ phải ngược chiều với từ trường với từ trường phần ứng. Đối với máy công suất nhỏ, người ta không dùng cực từ phụ mà đôi khi chuyển chổi than đến trung tính vật lý.



Hình 11.11.

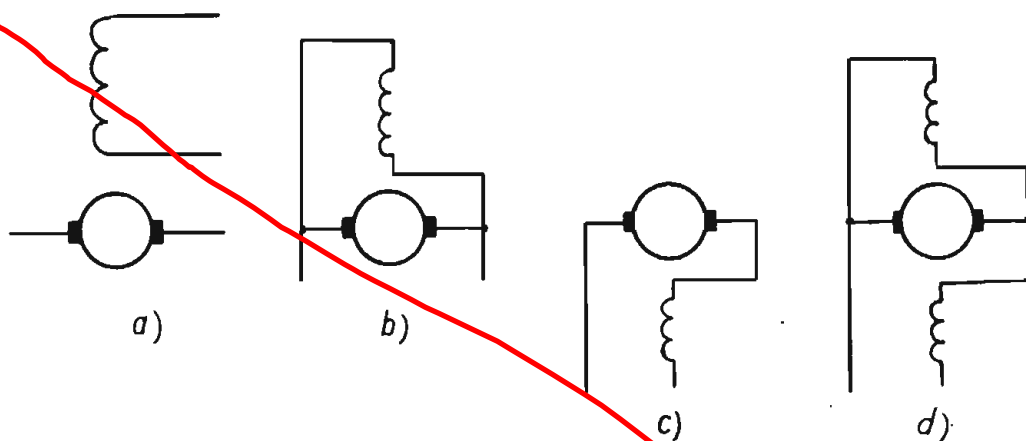
## § 11.6. MÁY PHÁT ĐIỆN MỘT CHIỀU

### 11.6.1. Phân loại máy điện một chiều

Dựa vào phương pháp cung cấp dòng điện kích từ, người ta chia máy điện một chiều ra các loại sau :

a) *Máy điện một chiều từ độc lập*

Dòng điện kích từ của máy lấy từ nguồn điện khác không liên hệ với phần ứng của máy (hình 11.12a).



Hình 11.12.

b) *Máy điện một chiều kích từ song song*

Dây quấn kích từ nối song song với mạch phần ứng (hình 11.12b)

c) *Máy điện một chiều kích từ nối tiếp*

Dây quấn kích từ mắc nối tiếp với mạch phần ứng (hình 11.12c)

d) *Máy điện một chiều kích từ hỗn hợp*

Gồm 2 dây quấn kích từ : dây quấn kích từ song song và dây quấn kích từ nối tiếp, trong đó dây quấn kích từ song song thường là chủ yếu (hình 11.12d)

### 11.6.2. Máy phát điện một chiều kích từ độc lập

Sơ đồ máy phát điện kích từ độc lập vẽ trên hình 11.12a, dòng điện phần ứng  $I_u$  bằng dòng điện tải  $I$ .

Phương trình dòng điện là :  $I_u = I$  (11.13a)

Phương trình điện áp là :

Mạch phần ứng :  $U = E_u - R_u I_u$  (11.13b)

Mạch kích từ :  $U_{kt} = I_{kt} (R_{kt} + R_{dc})$  (11.13c)

trong đó :  $R_u$  là điện trở dây quấn phần ứng,

$R_{kt}$  là điện trở dây quấn kích từ,

$R_{dc}$  điện trở điều chỉnh.

Khi dòng điện tải  $I$  tăng, dòng điện phần ứng tăng, điện áp  $U$  giảm xuống do hai nguyên nhân sau :

- Tác dụng của từ trường phần ứng làm cho từ thông giảm, kéo theo sức điện động  $E_u$  giảm.

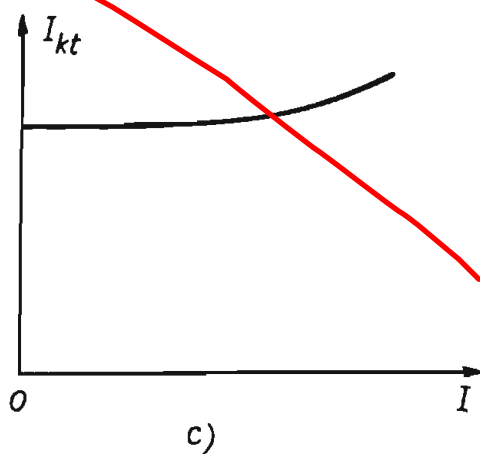
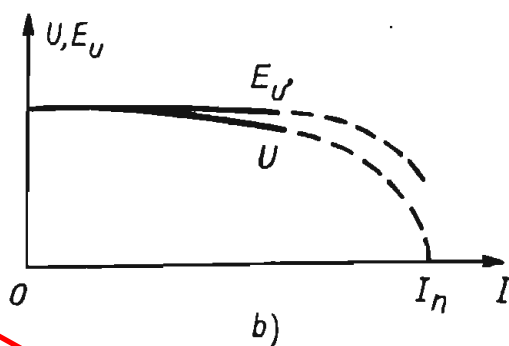
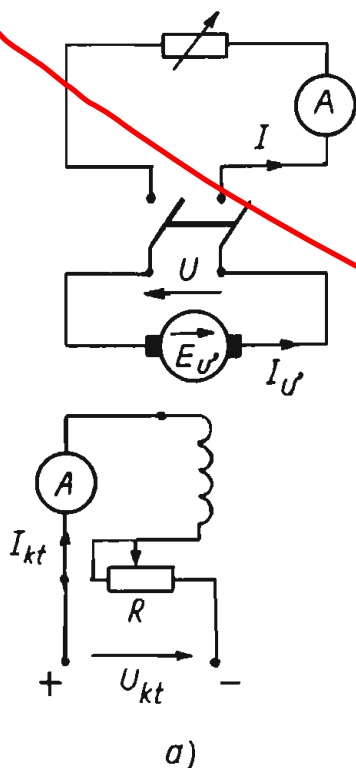
- Điện áp rơi trong mạch phần ứng  $r_u I_u$  tăng.

Đường đặc tính ngoài  $U = f(I)$  khi tốc độ và dòng điện kích từ không đổi, vẽ

trên hình 11.13b. Khi tải tăng điện áp giảm, độ giảm điện áp khoảng  $8 \div 10\%$  điện áp khi không tải.

Để giữ cho điện áp máy phát không đổi phải tăng dòng điện kích từ. Đường đặc tính điều chỉnh  $I_{kt} = f(I)$ , khi giữ điện áp và tốc độ không đổi vẽ trên hình 11.13c.

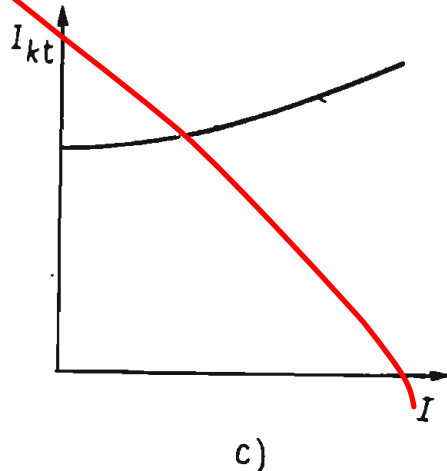
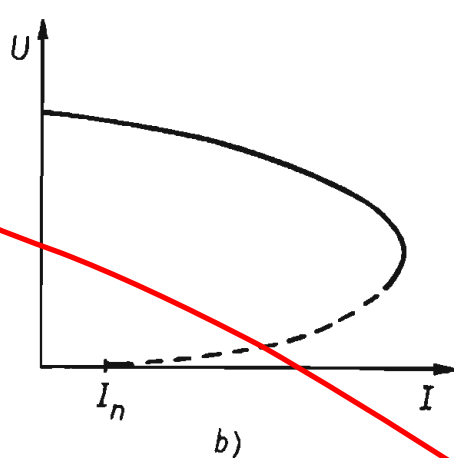
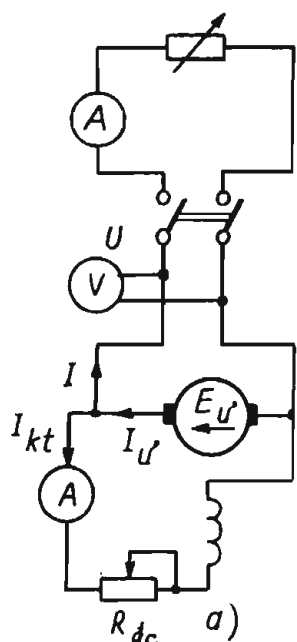
Máy phát kích từ độc lập có ưu điểm về điều chỉnh điện áp, thường gặp trong các hệ thống máy phát động cơ để truyền động máy cán, máy cắt kim loại, thiết bị tự động trên tàu thủy, máy bay v.v... song có nhược điểm là cần có nguồn điện kích từ riêng.



Hình 11.13.

### 11.6.3. Máy phát điện kích từ song song

Sơ đồ máy phát điện kích từ song song vẽ trên hình 11.14a. Để thành lập điện áp cần thực hiện một quá trình tự kích từ.



Hình 11.14.

Lúc đầu, máy không có dòng điện kích từ, từ thông trong máy do từ dư của cực từ tạo ra, bằng khoảng  $2 \div 3\%$  từ thông định mức. Khi quay phần ứng, trong dây quấn phần ứng sẽ có sức điện động cảm ứng do từ thông dư sinh ra. Sức điện động này khép mạch qua dây quấn kích từ (điện trở mạch kích từ ở vị trí nhỏ nhất),

sinh ra dòng điện kích từ, làm tăng từ trường cho máy. Quá trình tiếp tục cho đến khi đạt điện áp ổn định. Để máy có thể thành lập điện áp, cần thiết phải có từ dư và chiều từ trường dây quấn kích từ phải cùng chiều từ trường dư. Nếu không còn từ dư, ta phải mới để tạo từ dư, nếu chiều hai từ trường ngược nhau, ta phải đổi cực tính dây quấn kích từ hoặc đổi chiều quay phần ứng.

Phương trình cân bằng điện áp là :

Mạch phần ứng : 
$$U = E_u - R_u I_u \tag{11.14a}$$

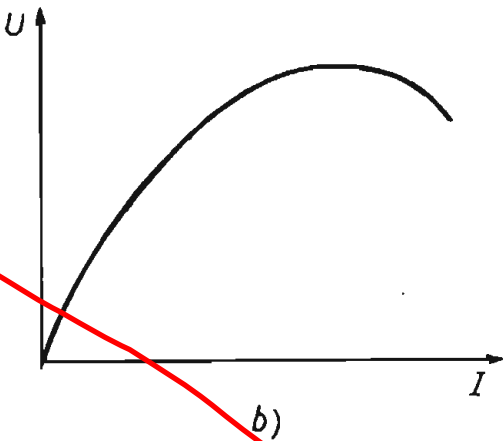
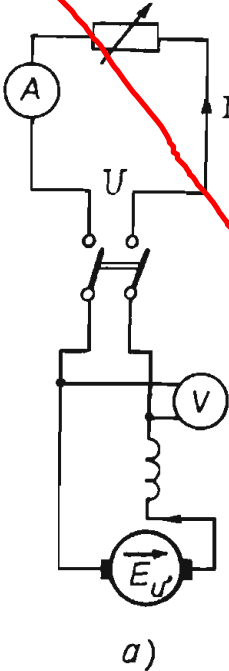
Mạch kích từ : 
$$U = I_{kt}(R_{kt} + R_{dc}) \tag{11.14b}$$

Phương trình dòng điện :

$$I_u = I + I_{kt} \tag{11.41.c}$$

Khi dòng điện tải tăng, dòng điện phần ứng tăng, ngoài hai nguyên nhân làm điện áp U đầu cực giảm, như máy phát điện từ độc lập, ở máy kích từ song song, còn thêm một nguyên nhân nữa là khi U giảm, làm cho dòng điện kích từ giảm, từ thông và sức điện động càng giảm, chính vì thế đường đặc tính ngoài dốc hơn so với máy kích từ độc lập và có dạng như hình 11.14b. Từ đường đặc tính ta thấy, khi ngắn mạch, điện áp U = 0, dòng kích từ bằng không, sức điện động trong máy chỉ do từ dư sinh ra vì thế dòng điện ngắn mạch I<sub>n</sub> nhỏ so với dòng điện định mức.

Để điều chỉnh điện áp, ta phải điều chỉnh dòng điện kích từ, đường đặc tính điều chỉnh I<sub>kt</sub> = f(I), khi U, n không đổi vẽ trên hình 11.14c.



Hình 11.15.

### 11.6.4. Máy phát điện kích từ nối tiếp

Sơ đồ nối dây như hình 11.15a. Dòng điện kích từ là dòng điện tải, do đó khi tải thay đổi, điện áp thay đổi rất nhiều, trong thực tế không sử dụng máy phát kích từ nối tiếp. Đường đặc tính ngoài  $U = f(I)$  vẽ trên hình 11.15b. Dạng đường đặc tính ngoài được giải thích như sau : Khi tải tăng, dòng điện I<sub>u</sub> tăng, từ thông và E<sub>u</sub> tăng, do đó U tăng, khi  $I = (2 \div 2,5)I_{dm}$ , máy bão hòa, thì I tăng U sẽ giảm.

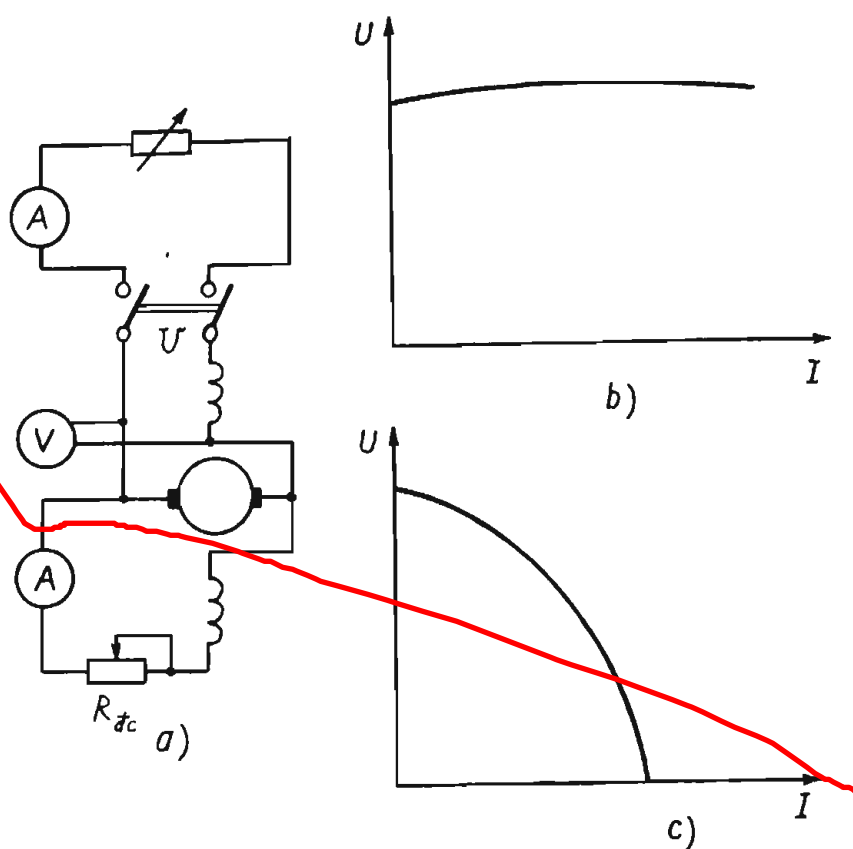
### 11.6.5. Máy phát điện kích từ hỗn hợp

Sơ đồ nối dây vẽ trên hình 11.16a.



Khi nối thuận, từ thông của dây quấn kích từ nối tiếp cùng chiều với từ thông của dây quấn kích từ song song, khi tải tăng, từ thông cuộn nối tiếp tăng làm cho từ thông của máy tăng lên, sức điện động của máy tăng, điện áp đầu cực của máy được giữ hầu như không đổi. Đây là ưu điểm rất lớn của máy phát điện kích từ hỗn hợp. Đường đặc tính ngoài  $U = f(I)$  vẽ trên hình 11.16b.

Khi nối ngược, chiều từ trường của dây quấn kích từ nối tiếp ngược với chiều từ trường của dây quấn kích từ song song, khi tải tăng điện áp giảm rất nhiều. Đường đặc tính ngoài  $U = f(I)$  vẽ trên hình 11.16c. Đường đặc tính ngoài dốc, nên được sử dụng làm máy hàn điện một chiều.



Hình 11.16.

## § 11.7. ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

Dựa vào phương pháp kích từ, việc phân loại động cơ điện một chiều, giống như đã xét đối với máy phát một chiều.

Theo công thức (11.7a), sức điện động của động cơ điện một chiều là :

$$E_u = \frac{pN}{60a} n\Phi \quad (11.15)$$

Đối với động cơ, dòng điện  $I_u$  ngược chiều với sức điện động, nên  $E_u$  còn gọi là sức phản điện.

Mômen điện từ của động cơ tính theo công thức (11.12a)

$$M_{dt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \Phi \quad (11.16)$$

Đối với động cơ, mômen điện từ là mômen quay, cùng chiều với tốc độ quay  $n$ .

### 11.7.1. Mở máy động cơ điện một chiều

Phương trình điện áp ở mạch phần ứng là :

$$U = E_u + R_u I_u \quad (11.17a)$$



Từ đó rút ra :

$$I_u = \frac{U - E_u}{R_u} \quad (11.17b)$$

Khi mở máy, tốc độ  $n = 0$ , sức phản điện  $E_u = k_E n \Phi = 0$ , dòng điện phản ứng lúc mở máy là :

$$I_{u\text{ mở}} = \frac{U}{R_u} \quad (11.18)$$

vì điện trở  $R_u$  rất nhỏ, cho nên dòng điện phản ứng lúc mở máy rất lớn khoảng  $(20 \div 30)I_{dm}$ , làm hỏng cổ góp và chổi than. Dòng điện phản ứng lớn kéo theo dòng điện mở máy  $I_{mở}$  lớn, làm ảnh hưởng đến lưới điện.

Để giảm dòng điện mở máy, đạt  $I_{mở} = (1,5 \div 2)I_{dm}$ , ta dùng các biện pháp sau :

a) Dùng biến trở mở máy  $R_{mở}$

Mắc biến trở mở máy vào mạch phản ứng (hình 11.17). Dòng điện mở máy phản ứng lúc có biến trở mở máy là ;

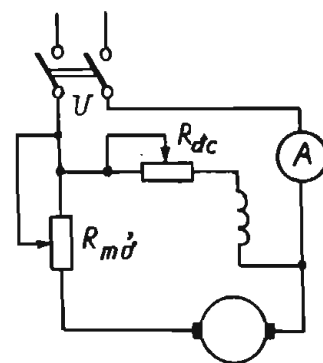
$$I_{umở} = \frac{U}{R_u + R_{mở}} \quad (11.19)$$

Lúc đầu để biến trở  $R_{mở}$  lớn nhất, trong quá trình mở máy, tốc độ tăng lên, sức điện động  $E_u$  tăng và điện trở mở máy giảm dần đến không, máy làm việc đúng điện áp định mức.

b) Giảm điện áp đặt vào phần ứng

Phương pháp này được sử dụng khi có nguồn điện một chiều có thể điều chỉnh điện áp, ví dụ trong hệ thống máy phát - động cơ, hoặc nguồn một chiều chỉnh lưu.

Cần chú ý rằng để mômen mở máy lớn, lúc mở máy phải có từ thông lớn nhất, vì thế các thông số mạch kích từ phải điều chỉnh sao cho dòng điện kích từ lúc mở máy lớn nhất.



Hình 11.17.

### 11.7.2. Điều chỉnh tốc độ

Từ phương trình (9.17a) rút ra.

$$E_u = U - R_u I_u$$

Thay trị số  $E_u = k_E \Phi n$ , ta có phương trình tốc độ là :

$$n = \frac{U - R_u I_u}{k_E \Phi} \quad (11.20)$$

Nhìn vào phương trình (11.20), một cách tổng quát, thấy rằng muốn điều chỉnh tốc độ, ta có các phương pháp sau.

a) Mắc điện trở điều chỉnh vào mạch phản ứng

Khi thêm điện trở vào mạch phản ứng, tốc độ giảm. Vì rằng dòng điện phản

ứng lớn, nên tổn hao công suất trên điện trở điều chỉnh lớn. Phương pháp này chỉ sử dụng ở động cơ công suất nhỏ.

#### b) Thay đổi điện áp $U$

Dùng nguồn điện một chiều điều chỉnh được điện áp cung cấp điện cho động cơ. Phương pháp này được sử dụng nhiều.

#### c) Thay đổi từ thông

Thay đổi từ thông bằng cách thay đổi dòng điện kích từ.

Khi điều chỉnh tốc độ, ta kết hợp các phương pháp trên. Ví dụ phương pháp thay đổi từ thông, kết hợp với phương pháp thay đổi điện áp thì phạm vi điều chỉnh rất rộng, đây là ưu điểm lớn của động cơ điện một chiều.

Dưới đây ta sẽ xét cụ thể các loại động cơ một chiều.

### 11.7.3. Động cơ điện kích từ song song

Sơ đồ nối dây như hình 11.18a, trong đó đã vẽ chiều dòng điện vào động cơ  $I$ , dòng điện phản ứng  $I_u$  và dòng điện kích từ  $I_{kt}$ .

Để mở máy ta dùng biến trở mở máy  $R_{mở}$ .

Để điều chỉnh tốc độ, thường điều chỉnh  $R_{dc}$  để thay đổi  $I_{kt}$  do đó thay đổi từ thông  $\Phi$ . Phương pháp này sử dụng rất rộng rãi, song cần chú ý khi giảm từ thông  $\Phi$ , có thể dòng điện phản ứng  $I_u$  tăng quá trị số cho phép, vì thế cần có bộ phận bảo vệ, cắt điện không cho động cơ làm việc, khi từ thông giảm quá nhiều.

#### a) Đường đặc tính cơ $n = f(M)$

Đường đặc tính cơ là đường quan hệ giữa tốc độ  $n$  và mômen quay  $M$  khi điện áp  $U$  và điện trở mạch phản ứng và mạch kích từ không đổi.

Từ công thức (11.20) ta có :

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R_u}{k_E \Phi} I_u \quad (11.21)$$

Mặt khác theo biểu thức mômen điện từ  $M = k_M I_u \Phi$  rút ra

$I_u = \frac{M}{k_M \Phi}$ , thay vào biểu thức tốc độ ta có :

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R_u}{k_E k_M \Phi^2} M \quad (11.22a)$$

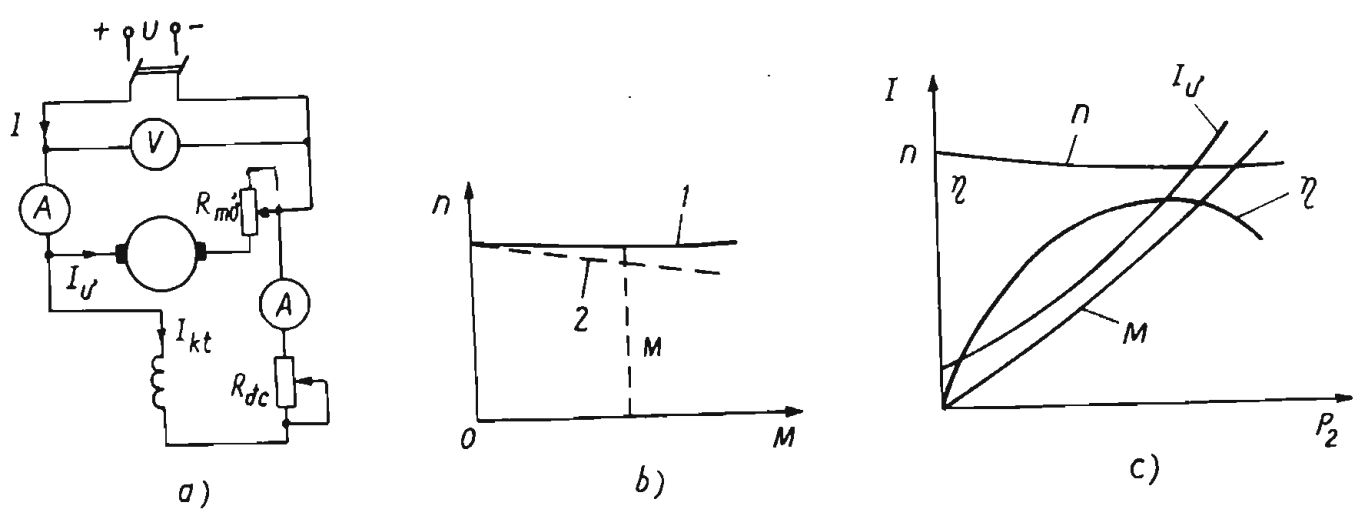
Nếu thêm điện trở  $R_p$  vào mạch phản ứng thì ta có phương trình :

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{R_u + R_p}{k_E k_M \Phi^2} M \quad (11.22b)$$

Trên hình 11.18b vẽ đường đặc tính cơ, đường 1 là đường đặc tính cơ tự nhiên ( $R_p = 0$  ứng với phương trình 11.22a). Đường 2 với  $R_p \neq 0$  ứng với phương trình 11.22b).

b) Đặc tính làm việc

Đường đặc tính làm việc được xác định khi điện áp và dòng điện kích từ không đổi. Đó là các đường quan hệ giữa tốc độ  $n$ , mômen  $M$ , dòng điện phản ứng  $I_u$  và hiệu suất  $\eta$  theo công suất cơ trên trục  $P_2$ , được vẽ trên hình 11.18c.



Hình 11.18.

Ta có nhận xét động cơ điện kích từ song song có đặc tính cơ cứng, và tốc độ hầu như không đổi khi công suất trên trục  $P_2$  thay đổi, chúng được dùng nhiều trong các máy cắt kim loại, các máy công cụ v.v... Khi có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ ta dùng động cơ kích từ độc lập.

11.7.4. Động cơ kích từ nối tiếp

Sơ đồ nối dây vẽ trên hình 11.19a.

Để mở máy ta dùng biến trở mở máy  $R_{mở}$ . Để điều chỉnh tốc độ ta có thể dùng các phương pháp đã nói ở mục 2 tiết này, song chú ý rằng, khi điều chỉnh từ thông, ta mắc biến trở điều chỉnh song song với dây quấn kích từ nối tiếp.

a) Đường đặc tính cơ  $n = f(M)$

Khi máy không bão hòa, dòng điện phản ứng  $I_u$  và từ thông  $\Phi$  tỷ lệ với nhau, nghĩa là :

$$I_u = k_I \Phi \tag{11.23}$$

do đó : 
$$M = k_M I_u \Phi = k_M k_I \Phi^2 = k^2 \cdot \Phi^2$$

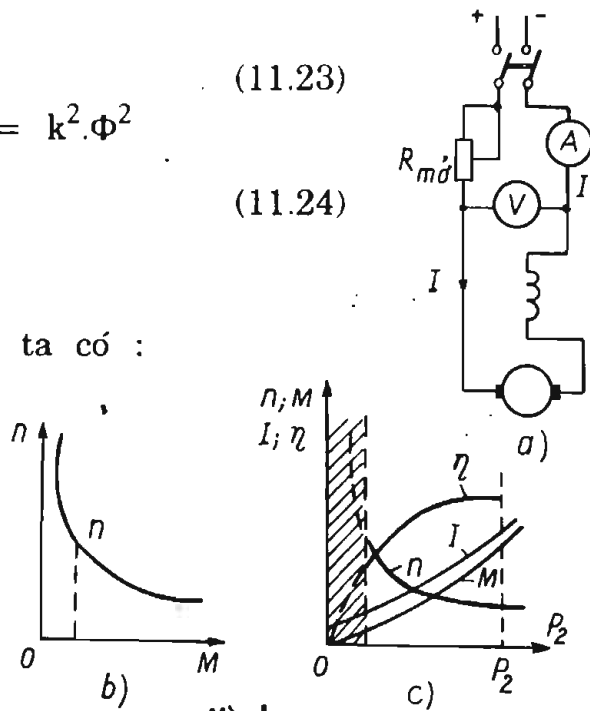
hoặc là : 
$$\Phi = \frac{\sqrt{M}}{k} \tag{11.24}$$

trong đó 
$$k = \sqrt{k_M k_I}$$

Thay biểu thức (11.23) và (11.24) vào (11.20) ta có :

$$n = \frac{kU}{k_E \sqrt{M}} - \frac{k_I R_u}{k_E}$$

Đặt  $\frac{k}{k_E} = a$  ,  $\frac{k_I}{k_E} = b$ , cuối cùng ta có :



Hình 11.19

$$n = \frac{aU}{\sqrt{M}} - bR_u \quad (11.25)$$

Từ biểu thức (11.25) thấy rằng, phương trình đặc tính cơ có dạng hypecbôn (hình 9.19b). Đường đặc tính cơ mềm, mômen tăng thì tốc độ cơ giảm. Khi không tải hoặc tải nhỏ, dòng điện và từ thông nhỏ, tốc độ động cơ tăng có thể gây hỏng động cơ về mặt cơ khí, vì thế không cho phép động cơ kích từ nối tiếp mở máy không tải hoặc tải nhỏ.

#### b) Đường đặc tính làm việc

Trên hình 11.19c vẽ các đường đặc tính làm việc. Động cơ được phép làm việc với tốc độ  $n$  nhỏ hơn tốc độ giới hạn  $n_{gh}$ . Đường đặc tính trong vùng việc vẽ bằng đường nét liền.

Vì rằng khi chưa bão hòa mômen quay động cơ tỷ lệ với bình phương dòng điện, và tốc độ giảm theo tải, động cơ kích từ nối tiếp thích hợp trong chế độ tải nặng nề, được sử dụng nhiều trong giao thông vận tải hay các thiết bị cấu trúc.

### 11.7.5. Động cơ kích từ hỗn hợp

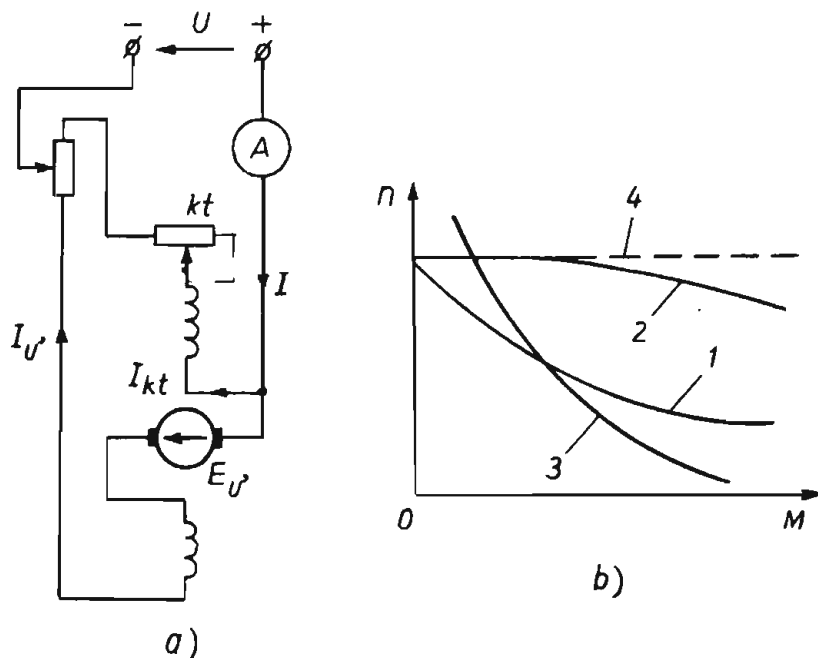
Sơ đồ nối dây vẽ trên hình 11.20a.

Các dây quấn kích từ có thể nối thuận (từ trường 2 dây quấn cùng chiều) làm tăng từ thông, hoặc nối ngược (từ trường 2 dây quấn ngược nhau) làm giảm từ thông.

Đặc tính cơ động cơ kích từ hỗn hợp khi nối thuận (đường 1) sẽ là trung bình giữa đặc tính cơ của động cơ kích từ song song (đường 2) và nối tiếp (đường 3) (hình 11.20b).

Các động cơ làm việc nặng nề, dây quấn kích từ nối tiếp là dây quấn kích từ chính, còn dây quấn kích từ song song là phụ và được nối thuận. Dây quấn kích từ song song bảo đảm tốc độ động cơ không tăng quá lớn khi mômen nhỏ.

Động cơ kích từ hỗn hợp có dây quấn kích từ nối tiếp là kích từ phụ, và nối ngược, có đặc tính cơ rất cứng (đường 4) hình 9.20b, nghĩa là tốc độ quay hầu như không đổi khi mômen thay đổi. Thật vậy, khi mômen quay tăng, dòng điện phần ứng tăng, dây quấn kích từ song song làm tốc độ giảm một ít, nhưng vì có dây quấn kích từ nối tiếp được nối ngược, làm giảm từ thông trong máy, sẽ tăng tốc độ động cơ lên như cũ. Ngược lại khi nối thuận, sẽ làm cho đặc tính của động cơ mềm hơn, mômen mở máy lớn hơn, thích hợp với máy ép, máy bơm, máy nghiền, máy cán v.v...



Hình 11.20.

11.7.6. Động cơ vạn năng

Trong công nghiệp cũng như trong các thiết bị điện sinh hoạt, người ta sử dụng rộng rãi loại động cơ có vành góp dùng được với dòng điện một chiều và cả dòng điện xoay chiều, nên gọi là động cơ vạn năng. Động cơ vạn năng thường có hai cực từ với dây quấn kích từ nối tiếp. Dòng kích từ là dòng phản ứng, nên từ thông và dòng phản ứng sẽ biến thiên đồng thời với nhau, bảo đảm chiều mômen quay động cơ không đổi.

Động cơ vạn năng thích hợp với chế độ làm việc nặng nề, nên nhiều nước sử dụng động cơ này trên đường sắt với lưới điện xoay chiều tần số 50 Hz (hoặc 25 hay 16 2/3 Hz).

Bảng tóm tắt chương 11

Máy điện một chiều kích từ độc lập	
Máy điện một chiều kích từ song song	
Máy điện một chiều kích từ nối tiếp	
Máy điện một chiều kích từ hỗn hợp	
Sức điện động máy điện một chiều $E_u$	$E_u = \frac{pN}{60a} n\Phi = k_E n\Phi$
Mômen điện từ máy điện một chiều	$M_{dt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \Phi = k_M I_u \Phi$
Các biện pháp mở máy : $I_{umở} = \frac{U}{R_u}$	1) Mắc $R_{mở}$ vào mạch phản ứng 2) Giảm điện áp U
Các biện pháp điều chỉnh tốc độ (thiết bị đơn giản, phạm vi điều chỉnh rộng và liên tục) .	1) Mắc $R_p$ vào mạch phản ứng 2) Thay đổi điện áp U 3) Thay đổi dòng kích từ
$n = \frac{U - R_u I_u}{k_E \Phi}$	

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 11

- 1. Cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy phát điện một chiều.
- 2. Sức điện động và mômen điện từ của máy điện một chiều.
- 3. Phân loại và sơ đồ đấu dây của các loại máy điện một chiều.

4. Mở máy và điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều.
5. Các đặc tính làm việc và đặc tính cơ của động cơ điện một chiều.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 11

### Bài số 11.1.

Một máy phát điện kích từ song song, công suất định mức  $P_{dm} = 25 \text{ kW}$ , điện áp định mức  $U_{dm} = 115 \text{ V}$ , có các thông số sau : điện trở dây quấn kích từ song song  $R_{kt} = 12,5 \Omega$  ; điện trở dây quấn phản ứng  $R_u = 0,0238 \Omega$ , số đôi nhánh  $a = 2$ , số đôi cực từ  $p = 2$ , số thanh dẫn  $N = 300$ , tốc độ quay  $n = 1300 \text{ vg/ph}$

a) Xác định sức điện động  $E_u$  , từ thông  $\Phi$

b) Giả sử dòng điện kích từ không đổi, bỏ qua phản ứng phần ứng, hãy xác định điện áp đầu cực máy khi dòng điện giảm xuống  $I = 80,8 \text{ A}$ .

*Bài giải*

a) Dòng điện định mức

$$I_{dm} = \frac{P_{dm}}{U_{dm}} = \frac{25000}{115} = 217,4 \text{ A.}$$

Dòng điện kích từ

$$I_{kt} = \frac{U_{dm}}{R_{kt}} = \frac{115}{12,5} = 9,2 \text{ A.}$$

Dòng điện phản ứng

$$I_u = I_{dm} + I_{kt} = 217,4 + 9,2 = 226,6 \text{ A.}$$

Sức điện động của máy

$$E_u = U + I_u R_u = 115 + 226,6 \cdot 0,0238 = 120,4 \text{ V.}$$

Từ thông  $\Phi$

$$\Phi = \frac{60a E_u}{pNn} = \frac{60 \cdot 2 \cdot 120,4}{2 \cdot 300 \cdot 1300} = 1,852 \cdot 10^{-2} \text{ Wb.}$$

b) Dòng điện phản ứng

$$I_u = I + I_{kt} = 80,8 + 9,2 = 90 \text{ A.}$$

Điện áp đầu cực máy phát

$$U = E_u - I_u R_u = 120,4 - 90 \cdot 0,0238 = 118,3 \text{ V.}$$

### Bài số 11.2.

Một máy phát điện một chiều kích từ song song, điện áp định mức  $U_{dm} = 115 \text{ V}$ , cung cấp dòng điện  $I_l = 98,3 \text{ A}$  cho tải. Điện trở phản ứng  $R_u = 0,0735 \Omega$ , điện trở dây quấn kích từ song song  $R_{kt} = 19 \Omega$ . Tổn hao cơ, sắt từ và phụ bằng 4% công suất điện.

a) Xác định sức điện động  $E_u$  và hiệu suất  $\eta$  của máy ở chế độ tải trên.

b) Tính dòng điện ngắn mạch khi ngắn mạch hai đầu cực máy phát. Cho biết từ thông dư bằng 3% từ thông của máy ở chế độ tải trên, và tốc độ máy không đổi.

*Bài giải*

a) Dòng điện kích từ

$$I_{kt} = \frac{U}{R_{kt}} = \frac{115}{19} = 6,05 \text{ A}$$

Dòng điện phản ứng

$$I_u = I_l + I_{kt} = 98,3 + 6,05 = 104,35 \text{ A.}$$

Sức điện động phản ứng

$$E_u = U + I_u R_u = 115 + 104,35 \cdot 0,735 = 122,7 \text{ V.}$$

Tổn hao trong dây quấn kích từ song song

$$\Delta P_{kt} = I_{kt}^2 R_{kt} = 6,05^2 \cdot 19 = 695 \text{ W.}$$

Tổn hao trong dây quấn phần ứng

$$\Delta P_u = I_u^2 R_u = 104,35^2 \cdot 0,735 = 800 \text{ W.}$$

Tổn hao cơ, sắt từ và phụ

$$\Delta P_{cstf} = 4\% P = 0,04 \cdot 115 \cdot 98,3 = 452 \text{ W}$$

Hiệu suất của máy

$$\eta = \frac{P}{P + \Delta P} = \frac{115 \cdot 98,3}{115 \cdot 98,3 + 695 + 800 + 452} = 0,853$$

b) Khi ngắn mạch đầu cực, dòng điện ngắn mạch chạy trong dây quấn phần ứng

$$I_{un} = \frac{E_{un}}{R_u} ,$$

trong đó  $E_{un} = k_e n \Phi_{du} = 0,03 k_e n \Phi = 0,03 E_u = 0,03 \cdot 122,7 = 3,7 \text{ V.}$

$$I_u = \frac{E_{un}}{R_u} = \frac{3,7}{0,0735} = 50 \text{ A.}$$

Ở máy phát kích từ song song, dòng điện ngắn mạch nhỏ hơn dòng điện định mức.

**Bài số 11.3.**

Một máy phát điện kích từ hỗn hợp, công suất định mức  $P_{dm} = 20 \text{ kW}$ , điện áp định mức 230 V. Điện trở mạch kích từ song song  $R_{kt//} = 71,87 \text{ }\Omega$ , điện trở dây quấn phần ứng  $R_u = 0,098 \text{ }\Omega$ , điện trở dây quấn kích từ nối tiếp  $R_{nt} = 0,04 \text{ }\Omega$ , tổn hao cơ, sắt, từ, phụ bằng 4% công suất định mức.

Xác định sức điện động  $E_u$ .

*Bài giải*

Dòng điện định mức máy phát

$$I_{dm} = \frac{P_{dm}}{U_{dm}} = \frac{20.10^3}{230} = 87 \text{ A}$$

Dòng điện kích từ song song

$$I_{kt} = \frac{U_{dm}}{R_{kt//}} = \frac{220}{71,87} = 3,2 \text{ A.}$$

Dòng điện phản ứng định mức

$$I_{udm} = I_{dm} + I_{kt} = 87 + 3,2 = 90,2 \text{ A.}$$

Sức điện động máy  $E_u$

$$E_u = U_{dm} + I_{udm} (R_u + R_{nl}) = 230 + 90,2 (0,098 + 0,04) = 242,4 \text{ V.}$$

#### Bài số 11.4.

Một động cơ điện một chiều công suất định mức  $P_{dm} = 1,5 \text{ kW}$ , điện áp định mức  $U_{dm} = 220 \text{ V}$ ; hiệu suất  $\eta = 0,82$ ; tốc độ  $n = 1500 \text{ vg/ph.}$  Tính mômen định mức, tổng tổn hao trong máy, dòng điện định mức.

*Bài giải*

Mômen định mức

$$M_{dm} = 9550 \frac{P_{dm}}{n} = 9550 \frac{1,5}{1500} = 9,55 \text{ Nm.}$$

Công suất điện cung cấp cho động cơ

$$P_1 = \frac{P_{dm}}{\eta} = \frac{1,5.10^3}{0,82} = 1829,3 \text{ W.}$$

Dòng điện định mức

$$I_{dm} = \frac{P_1}{U} = \frac{1829,3}{220} = 8,31 \text{ A.}$$

Tổng tổn hao trong máy

$$\Delta P = P_1 - P_{dm} = 1829,3 - 1500 = 329,3 \text{ W.}$$

#### Bài số 11.5.

Một động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp điện áp định mức  $U_{dm} = 220 \text{ V}$ , dòng điện định mức  $I_{dm} = 502 \text{ A}$ , hiệu suất định mức  $\eta = 0,905$ , điện trở dây quấn kích từ song song  $R_{kt//}} = 50 \Omega$ , tổn hao cơ, sắt từ và phụ là  $4136 \text{ W}$ .

Tính công suất điện động cơ tiêu thụ, công suất định mức động cơ, tổng tổn hao trên các điện trở phản ứng, điện trở kích từ nối tiếp và dây quấn cực từ phụ.

*Bài giải*

Công suất điện động cơ tiêu thụ

$$P_1 = U_{dm} I_{dm} = 220 \cdot 502 = 110,44 \text{ kW.}$$

Công suất định mức động cơ điện

$$P_{dm} = P_1 \cdot \eta = 110,44 \cdot 0,905 = 100 \text{ kW.}$$

Tổn hao trên điện trở kích từ song song



$$\Delta P_{kt//} = R_{kt//} I_{kt}^2 = 50 \left( \frac{220}{50} \right)^2 = 968 \text{ W.}$$

Tổng tổn hao trong động cơ

$$\Delta P = P_1 - P_{dm} = 110,44 - 100 = 10,44 \text{ kW.}$$

Tổng tổn hao trên điện trở phần ứng, kích từ nối tiếp và dây quấn cực từ phụ:

$$\Delta P_{u,nt,f} = \Delta P - \Delta P_{cstf} - \Delta P_{kt//} = 10440 - 4136 - 968 = 5336 \text{ W.}$$

#### Bài số 11.6.

Một động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp, điện áp định mức  $U_{dm} = 220 \text{ V}$ , dòng điện định mức  $I_{dm} = 94 \text{ A}$ , điện trở dây quấn kích từ song song  $R_{kt//} = 338 \Omega$ , điện trở dây quấn phần ứng và kích từ nối tiếp  $R_u + R_{nt} = 0,17 \Omega$ , số đôi nhánh  $a = 1$ , số đôi cực từ  $p = 2$ , số thanh dẫn  $N = 372$ , tốc độ  $n = 1100 \text{ vg/ph}$ .

Tính sức điện động  $E_u$  (đối với động cơ còn được gọi là sức phản điện), từ thông  $\Phi$ , công suất điện từ, mômen điện từ.

*Bài giải*

Dòng điện kích từ song song

$$I_{kt//} = \frac{U_{dm}}{R_{kt//}} = \frac{220}{338} = 0,65 \text{ A.}$$

Dòng điện phần ứng

$$I_u = I_{dm} - I_{kt//} = 94 - 0,65 = 93,35 \text{ A.}$$

Sức điện động  $E_u$

$$E_u = U - I_u (R_u + R_{nt}) = 220 - 93,35 \cdot 0,17 = 204 \text{ V.}$$

Từ thông  $\Phi$

$$\Phi = \frac{60aE_u}{pNn} = \frac{60 \cdot 1 \cdot 204}{2 \cdot 372 \cdot 1100} = 1,49 \cdot 10^{-2} \text{ Wb.}$$

Công suất điện từ

$$P_{dt} = E_u I_u = 204 \cdot 93,35 = 19,043 \text{ kW.}$$

Mômen điện từ

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega} = \frac{19043 \cdot 60}{2\pi \cdot 1100} = 165 \text{ Nm.}$$

trong đó

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1100}{60} \text{ rad/s}$$

Có thể tính mômen điện từ theo công thức

$$M_{dt} = \frac{pN}{2\pi a} I_u \Phi = 165 \text{ Nm.}$$

#### Bài số 11.7.

Một động cơ điện kích từ nối tiếp, điện áp định mức  $U_{dm} = 110 \text{ V}$ , dòng điện định mức  $I_{dm} = 26,6 \text{ A}$ . Điện trở phần ứng và dây quấn kích từ nối tiếp

$R_u + R_{nt} = 0,282 \Omega$ . Tính dòng điện mở máy trực tiếp. Tính điện trở mở máy để dòng điện mở máy bằng 2 lần dòng điện định mức.

*Bài giải*

Dòng điện mở máy trực tiếp

$$I_{mđ} = \frac{U_{dm}}{R_u + R_{nt}} = \frac{110}{0,282} = 390 \text{ A.}$$

Dòng điện mở máy khi có điện trở mở máy

$$I_{mđ} = \frac{U_{dm}}{R_u + R_{nt} + R_{mđ}} = 2 I_{dm}$$

$$R_{mđ} = \frac{110}{26,62} - 0,282 = 1,78 \Omega.$$

### **Bài số 11.8.**

Động cơ điện một chiều kích từ song song, công suất định mức  $P_{dm} = 10 \text{ kW}$ , điện áp định mức  $U_{dm} = 220 \text{ V}$ , hiệu suất  $\eta = 0,86$ , tốc độ định mức  $n = 2250 \text{ vg/ph}$ , dòng điện kích từ định mức  $I_{kt} = 2,26 \text{ A}$ , điện trở phản ứng  $R_u = 0,178 \Omega$ .

Tính dòng điện mở máy trực tiếp. Để giảm dòng điện mở máy xuống bằng 2 lần dòng điện định mức, tính điện trở mở máy  $R_{mm}$ .

*Bài giải*

Công suất điện động cơ tiêu thụ

$$P_1 = \frac{P_{dm}}{\eta} = \frac{10}{0,86} = 11,628 \text{ kW.}$$

Dòng điện định mức

$$I_{dm} = \frac{P_1}{U_{dm}} = \frac{11,62.10^3}{220} = 52,85 \text{ A.}$$

Dòng điện mở máy trực tiếp

$$I_{mm} = I_{kt} + \frac{U_{dm}}{R_u} = 2,26 + \frac{220}{0,178} = 1238 \text{ A.}$$

Dòng điện mở máy khi có biến trở mở máy

$$I_{mm} = I_{kt} + \frac{U_{dm}}{R_u + R_{mm}} = 2I_{dm}$$

$$\text{Từ đó} \quad \frac{U_{dm}}{R_u + R_{mm}} = 2I_{dm} - I_{kt} = 252,85 - 2,26 = 103,44 \text{ A ;}$$

$$R_{mm} = \frac{220}{103,44} - 0,178 = 1,96 \Omega.$$

### **Bài số 11.9.**

Một động cơ điện một chiều kích từ song song  $P_{dm} = 12 \text{ kW}$ , điện áp định mức  $U_{dm} = 220 \text{ V}$ , tốc độ định mức  $n_{dm} = 685 \text{ vg/ph}$ , dòng điện định mức  $I_{dm} = 64 \text{ A}$ ,

dòng điện kích từ định mức  $I_{kldm} = 2 \text{ A}$ , điện trở phần ứng  $R_u = 0,281 \Omega$ . Động cơ kéo tải có mômen cản không đổi. Để giảm tốc độ động cơ, người ta dùng hai phương pháp sau :

a) Thêm điện trở phụ  $R_p = 0,7 \Omega$  vào mạch phần ứng. Tính tốc độ và hiệu suất của động cơ ở trình trạng này.

b) Giảm điện áp đặt vào động cơ. Tính tốc độ và hiệu suất lúc  $U = 176,6 \text{ V}$ . Có nhận xét gì về hiệu suất trong 2 phương pháp đã sử dụng.

Giả thiết bỏ qua tổn hao cơ và phụ, và trong hai trường hợp trên giữ từ thông không đổi.

*Bài giải*

Mômen cơ hữu ích trên trục :

$$M_{dm} = 9550 \frac{P_{dm}}{n_{dm}} = 9550 \frac{12}{685} = 167,3 \text{ Nm.}$$

Dòng điện phần ứng

$$I_{udm} = I_{dm} - I_{kt} = 64 - 2 = 62 \text{ A.}$$

Sức điện động phần ứng

$$E_u = U_{dm} - I_{udm} R_u = 220 - 62 \cdot 0,281 = 202,6 \text{ V.}$$

b) Bỏ qua tổn hao cơ và phụ, mômen cơ trên trục bằng mômen điện từ, nghĩa là  $M_c = M_{dt} = k_M I_u \Phi =$  không đổi, do đó khi  $\Phi$  không đổi, dòng điện phần ứng  $I_u$  không đổi.

Khi thêm điện trở phụ  $R_p$ , sức điện động  $E_u$  bằng :

$$E_u = U_{dm} - I_{udm}(R_u + R_p) = 220 - 62(0,281 + 0,7) = 159,2 \text{ V.}$$

Vì từ thông  $\Phi$  không đổi, sức điện động tỷ lệ với tốc độ, ta có quan hệ

$$\frac{n}{685} = \frac{159,2}{202,6}.$$

Tốc độ động cơ điện

$$n = \frac{685 \cdot 159,2}{202,6} = 538 \text{ vg/ph.}$$

Công suất cơ hữu ích

$$P_2 = M\omega = 167,3 \cdot 2\pi \cdot \frac{538}{60} = 9,425 \text{ kW.}$$

Hiệu suất động cơ ở trường hợp này

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{9425}{220 \cdot 64} = 0,67.$$

b) Khi điện áp đặt vào động cơ  $U = 176,6 \text{ V}$  sức điện động phần ứng

$$E_u = U - I_u R_u = 176,6 - 62 \cdot 0,281 = 159,2 \text{ V.}$$

Tốc độ động cơ điện

$$n = \frac{685 \cdot 159,2}{202,6} = 538 \text{ vg/ph.}$$

Công suất điện động cơ tiêu thụ

$$P_1 = UI = 176,6 \cdot 64 = 11,302 \text{ kW.}$$

Công suất có hữu ích

$$P_2 = M\omega = 167,3 \frac{2\pi \cdot 538}{60} = 9,425 \text{ kW.}$$

Hiệu suất động cơ

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{9,425}{11,302} = 0,834.$$

So sánh trường hợp b với a, thấy rằng phương pháp dùng biến trở mắc vào mạch phản ứng có hiệu suất thấp rất nhiều so với phương pháp giảm điện áp đặt vào động cơ.

#### *Bài số 11.10.*

Một máy phát điện một chiều kích từ song song công suất định mức  $P_{dm} = 7,5 \text{ kW}$ , điện áp định mức  $U_{dm} = 230 \text{ V}$ , tốc độ quay định mức  $n_{dm} = 1450 \text{ vg/ph}$ ; điện trở mạch phản ứng  $R_u = 0,54 \Omega$ , điện trở mạch kích từ song song  $R_{kt} = 191,7 \Omega$ , điện áp rơi trên chổi than  $2 \text{ V}$ .

Máy phát sử dụng ở chế độ động cơ  $U = 220 \text{ V}$ , quay với tốc độ  $n = 1162 \text{ vg/ph}$  và hiệu suất  $\eta = 0,825$ . Xác định công suất điện động cơ tiêu thụ, công suất cơ hữu ích trên trục.

*Bài giải*

Ở chế độ máy phát

Dòng điện máy phát ra

$$I_{dmp} = \frac{P_{dm}}{U_{dm}} = \frac{7500}{230} = 32,6 \text{ A}$$

Dòng điện kích từ máy phát

$$I_{ktp} = \frac{U_{dm}}{R_{kt}} = \frac{230}{191,66} = 1,2 \text{ A.}$$

Dòng điện phản ứng máy phát

$$I_{up} = I_{dmp} + I_{ktp} = 32,6 + 1,2 = 33,8 \text{ A.}$$

Sức điện động máy phát

$$E_{udp} = U_{dm} + I_{up} \cdot R_u + 2 = 230 + 33,8 \cdot 0,54 + 2 = 250,25 \text{ V.}$$

Ở chế độ động cơ điện

Vì từ thông  $\Phi$  ở hai chế độ như nhau, do đó sức điện động tỷ lệ với tốc độ.

Sức điện động phản ứng động cơ

$$E_{ud} = E_{udp} \frac{n_d}{n_p} = 250,25 \frac{1162}{1450} = 200,5 \text{ V.}$$

Dòng điện phản ứng động cơ

$$I_{ud} = \frac{U - E_{ud} - 2}{R_u} = \frac{220 - 200,5 - 2}{0,54} = 32,4 \text{ A.}$$

Dòng điện động cơ tiêu thụ :

$$I_d = I_{ud} + I_{kt} = 32,4 + 1,2 = 33,6 \text{ A.}$$

Công suất điện động cơ tiêu thụ

$$P_{1d} = UI_d = 220 \cdot 33,6 = 7392 \text{ W.}$$

Công suất cơ hữu ích của động cơ

$$P_{2d} = P_{1d} \cdot \eta = 7392 \cdot 0,825 = 6100 \text{ W.}$$

*Tóm tắt so sánh các loại động cơ điện thông dụng*

	<i>Động cơ không đồng bộ</i>	<i>Động cơ một chiều</i>	<i>Động cơ đồng bộ</i>
Cấu tạo	Stato : lõi thép và dây quấn tạo từ trường quay rôto : lõi thép và dây quấn chia thành 2 loại : rôto lồng sóc và rôto dây quấn	Stato : phần cảm gồm cực từ và dây quấn kích từ rôto : phần ứng có vành góp. Theo phương pháp kích từ chia thành các loại : - động cơ kích từ độc lập - động cơ kích từ song song - động cơ kích từ nối tiếp - động cơ kích từ hỗn hợp	Stato : lõi thép và dây quấn tạo từ trường quay rôto : nam châm điện, cực lồi hoặc cực ẩn
Mômen và công suất	$M = \frac{mpU_1^2R'_2}{s\omega_1 \left[ \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}$  - Mômen tỷ lệ với bình phương điện áp - Mômen phụ thuộc vào hệ số trượt - Mômen phụ thuộc điện trở rôto $R'_2$	$M = k_M I_u \Phi$ - mômen phụ thuộc vào $I_u$ và $\Phi$ - có khả năng quá tải về mômen	$P = \frac{mUE_o}{X_d} \sin\theta + \frac{mU^2}{2} \times \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta$  - mômen phụ thuộc bậc nhất vào U - mômen phụ thuộc vào $\sin\theta$ - có khả năng điều chỉnh $\cos\varphi$ bằng cách điều chỉnh $I_{kt}$

Tốc độ	$n = \frac{60f_1}{p} (1 - s)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- điều chỉnh tần số lưới <math>f_1</math></li> <li>- điều chỉnh số đôi cực <math>p</math></li> <li>- điều chỉnh <math>s</math></li> <li>- tốc độ khó điều chỉnh</li> <li>- phạm vi điều chỉnh hẹp, nhảy cấp</li> </ul>	$n = \frac{U - I_u R_u}{k_E \Phi}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- điều chỉnh <math>U</math></li> <li>- điều chỉnh <math>I_{kt}</math></li> <li>- mắc điện trở điều chỉnh vào mạch phản ứng</li> <li>- tốc độ thay đổi liên tục, bằng phẳng trong giới hạn rộng</li> </ul>	$n = \frac{60f_1}{p}$
Mở máy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- có mômen mở máy</li> <li>- <math>I_{mở} = (5 \div 7) I_{dm}</math></li> <li>- biện pháp mở máy : <ul style="list-style-type: none"> <li>• trực tiếp</li> <li>• Hạ điện áp (MBA tự ngẫu, điện kháng, đổi nối <math>\Delta \rightarrow Y</math> ...)</li> <li>• Biến trở mở máy ở rôto dây quấn</li> </ul> </li> </ul>	$I_{umở} = \frac{U}{R_u}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- mắc <math>R_{mở}</math> nối tiếp mạch phản ứng</li> <li>- giảm <math>U</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- không có mômen mở máy</li> <li>- dùng động cơ phụ</li> <li>- dùng lồng sóc mở máy</li> </ul>
Ưu khuyết điểm và phạm vi sử dụng	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cấu tạo đơn giản, rẻ tiền</li> <li>- vận hành đơn giản, chắc chắn</li> <li>- sử dụng rộng rãi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- những nơi yêu cầu điều chỉnh tốc độ cao và khả năng quá tải lớn</li> <li>- giá thành cao, cần nguồn điện một chiều</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- giá thành cao, vận hành phức tạp</li> <li>- công suất trung bình và công suất lớn</li> <li>- phụ tải và tốc độ không đổi</li> <li>- kết hợp nâng cao <math>\cos \varphi</math> của lưới.</li> </ul>

## BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ CHƯƠNG 11

### Bài số 11-11

Một máy phát điện một chiều kích từ song song  $P_{dm} = 100\text{kW}$ ,  $U_{dm} = 230\text{V}$ ;  $R_u = 0,05\Omega$ ;  $R_{kt} = 57,5\text{V}$ . Tính  $E_u$  khi  $U_{dm}$  với

- a) hệ số tải  $k_t = 1$
- b) hệ số tải  $k_t = 0,5$

Đáp số: a)  $E_u = 252\text{V}$

b)  $E_u = 241\text{V}$

### Bài số 11-12

Một động cơ điện kích từ song song,  $P_{dm} = 12\text{kW}$ ;  $U_{dm} = 250\text{V}$ ;  $\eta = 0,873$ ,  $R_u = 0,22\Omega$ ;  $R_{kt} = 170\Omega$ . Khi chạy không tải với điện áp định mức tốc độ  $n_o = 1200$  vg/ph;  $I_u = 3\text{A}$ . Khi kéo tải định mức, với điện áp định mức, từ thông  $\Phi$  giảm đi 2% so với khi không tải. Tính tốc độ định mức  $n_{dm}$ ;

Đáp số:  $n_{dm} = 1170$  vòng/ph.

### Bài số 11-13

Một máy phát điện kích từ song song,  $P_{dm} = 10\text{kW}$

$U_{dm} = 250\text{V}$ ;  $R_u = 0,1\Omega$ ;  $R_{kt} = 250\Omega$ ;  $n_{dm} = 800$  vòng/ph.

Người ta sử dụng máy phát này làm động cơ đấu vào nguồn có  $U_{dm} = 250\text{V}$ , cho động cơ làm việc với  $I$  bằng với  $I$  ở chế độ máy phát.

- a) Tính tốc độ động cơ
- b) Tính mômen điện từ động cơ.

Đáp số:  $n_{dc} = 774,8$  vg/ph

$M_{dt} = 118,3\text{Nm}$  .

### Bài số 11-14

Một động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp

$R_u = 0,06\Omega$ ;  $R_{kt//} = 125\Omega$ ;  $R_{ktnt} = 0,04\Omega$

Khi làm việc với điện áp  $U = 250\text{V}$ , dòng điện  $I = 200\text{A}$ .

Mômen điện từ  $M_{dt} = 696\text{Nm}$ .

- 1) Tính công suất điện động cơ tiêu thụ
- 2) Tính tốc độ động cơ  $n$ .

Đáp số:  $P = 50\text{kW}$  ;  $n = 625,4\text{vg/ph}$ .

# **Phần ba. ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT VÀ ĐIỀU KHIỂN MÁY ĐIỆN**

---

## **Chương 12**

### **ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT**

#### **§ 12.1. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐIỆN TỬ CÔNG SUẤT**

Trong thực tế sử dụng điện năng ta cần biến đổi các thông số điện để đáp ứng các nhu cầu của công nghệ. Việc biến đổi này trước đây chủ yếu nhờ vào các máy điện và quá trình điều khiển bằng thiết bị đóng mở có tiếp điểm.

Từ những năm 50 ngành điện tử công nghiệp ra đời nhưng ứng dụng của chúng bị hạn chế vì thiếu những linh kiện điện tử công suất có hiệu suất cao, kích thước nhỏ, có độ tin cậy cao. Các đèn điện tử chân không, có khí, các đèn thủy ngân không đáp ứng được các yêu cầu khắt khe của điện tử công nghiệp.

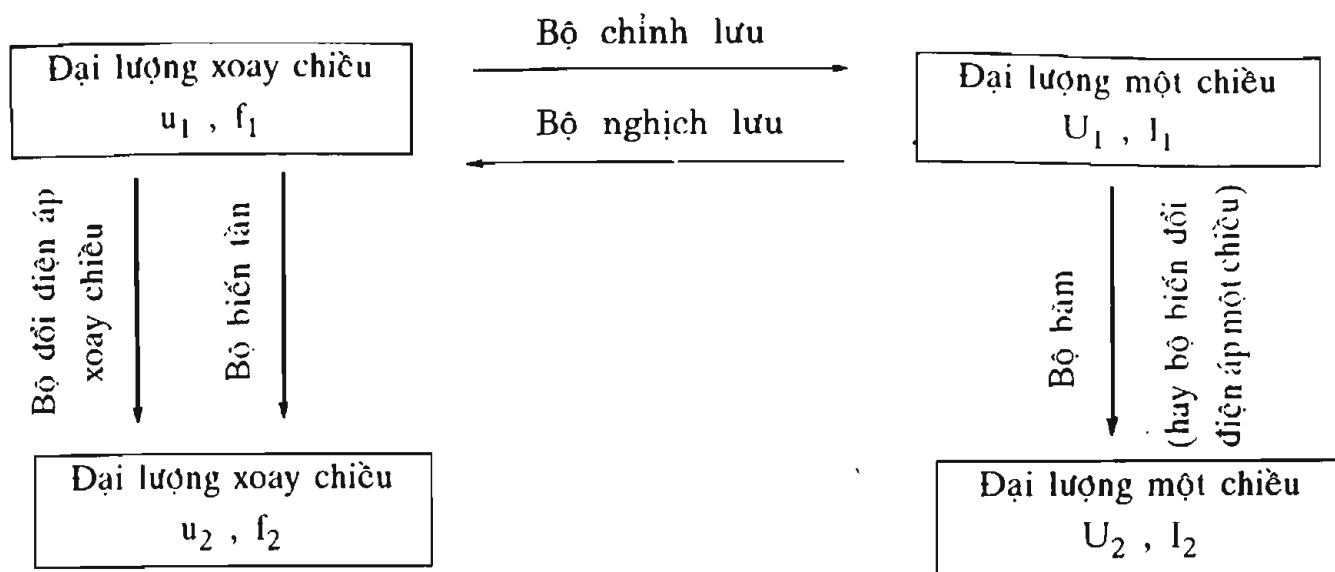
Từ những năm 1960 với sự hoàn thiện của kỹ thuật bán dẫn một loạt linh kiện điện tử công suất như điôt, tiristo, tranzito MOS công suất, triac ra đời. Với sự phát triển của kỹ thuật vi điện tử và tin học đã tạo nên những thiết bị điện tử công suất với tính năng ngày càng phong phú đáp ứng các yêu cầu ngày càng phức tạp của công nghệ.

Những ứng dụng của điện tử công suất bao trùm mọi lĩnh vực kỹ thuật nhưng chủ yếu vẫn là lĩnh vực điều khiển máy điện. Chương này đề cập đến các lĩnh vực chủ yếu của điện tử công suất, cụ thể là :

- Biến đổi dòng điện xoay chiều thành một chiều : bộ chỉnh lưu.
- Biến đổi dòng điện một chiều thành xoay chiều : bộ nghịch lưu.
- Biến đổi trị số điện áp một chiều : bộ băm hay bộ biến đổi điện áp một chiều
- Biến đổi trị số điện áp xoay chiều : bộ biến đổi điện áp xoay chiều
- Biến đổi tần số dòng điện xoay chiều : bộ biến tần

Sơ đồ khối phân loại các thiết bị điện tử công suất cho trên hình 12.1





Hình 12.1.

Một bộ biến đổi có thể thực hiện một hoặc một số chức năng biến đổi đã nói trên.

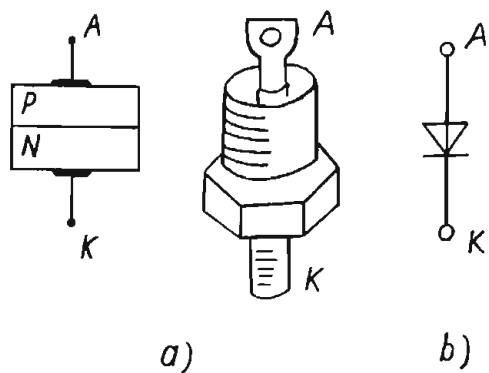
## § 12.2. CÁC LINH KIỆN BÁN DẪN CÔNG SUẤT

Dưới đây sẽ xét ba linh kiện bán dẫn công suất cơ bản : diốt công suất, tiristo, triac.

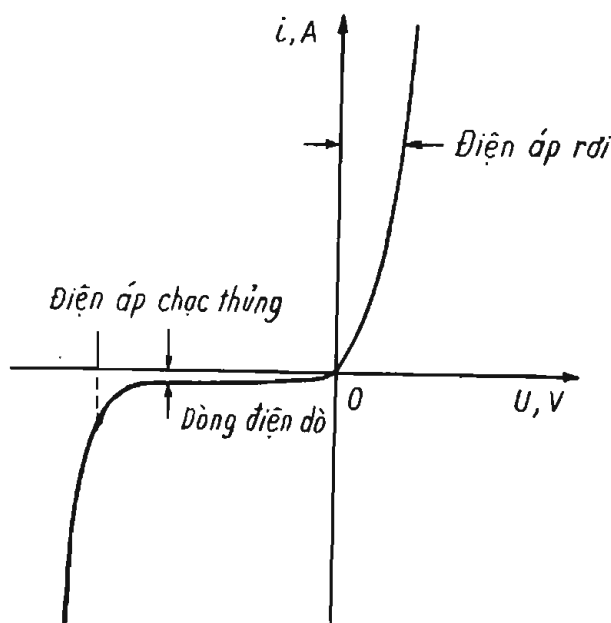
Về nguyên lý đã xét ở giáo trình kỹ thuật điện tử, ở đây chủ yếu chỉ xét các đặc tính và ứng dụng các linh kiện trên trong các bộ biến đổi.

### 12.2.1. Diốt công suất

Diốt công suất được trình bày trên hình 12.2. Diốt do 2 lớp bán dẫn p - n ghép lại thành. Nếu đặt vào anốt (p) một điện áp dương so với catốt (n) (phân cực thuận) sẽ có dòng điện chạy qua và điện áp rơi trên diốt vào khoảng 0,7 - 2 V khi



Hình 12.2



Hình 12.3

dòng điện định mức. Ngược lại, nếu đặt vào anốt một điện áp âm so với catốt (phân cực ngược) chỉ có dòng điện rò vào khoảng vài mA chạy qua. Như vậy điốt có tính dẫn điện theo một chiều.

Khi tiếp tục tăng điện áp ngược đến giá trị điện áp ngược cực đại  $U_{ngmax}$ , điốt bị chọc thủng, dòng điện ngược tăng đột ngột, điốt mất tính dẫn điện theo một chiều. Trên hình 12.3 vẽ đặc tính vôn ampe của điốt.

Các thông số cơ bản của điốt là :

Dòng điện định mức,  $I_{dm}$  (A)

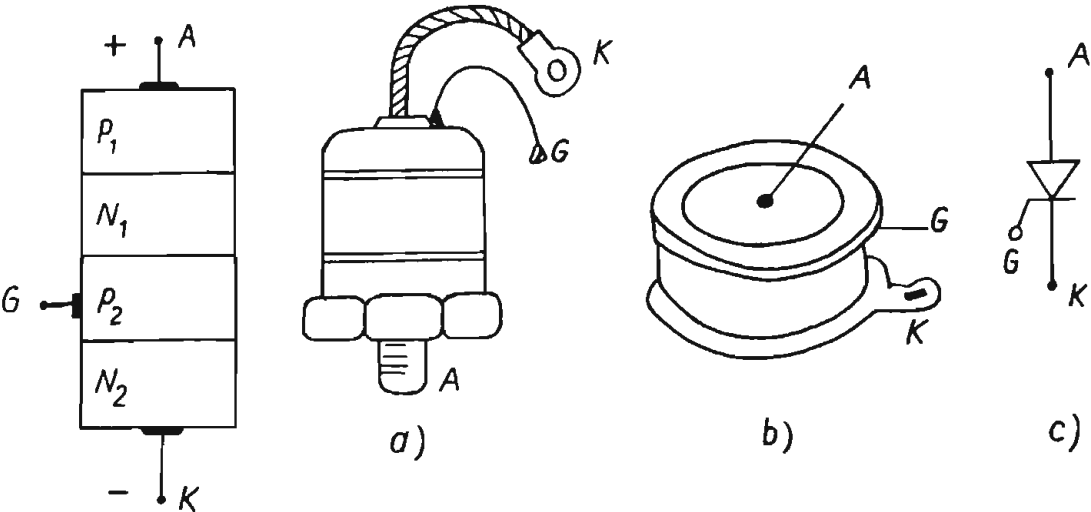
Điện áp ngược cực đại,  $U_{ngmax}$  (V)

Điện áp rơi khi dòng điện định mức  $\Delta U$  (V).

Hiện nay đã chế tạo được các điốt chịu được dòng điện lớn khoảng 1600 A và điện áp ngược lớn khoảng 1600 V.

12.2.2. Tiristo

Tiristo là linh kiện gồm 4 lớp bán dẫn pnpn tạo nên anốt A, catốt K và cực điều khiển G. Trên hình 12.4 vẽ cấu tạo (a, b) và ký hiệu (c) của tiristo.

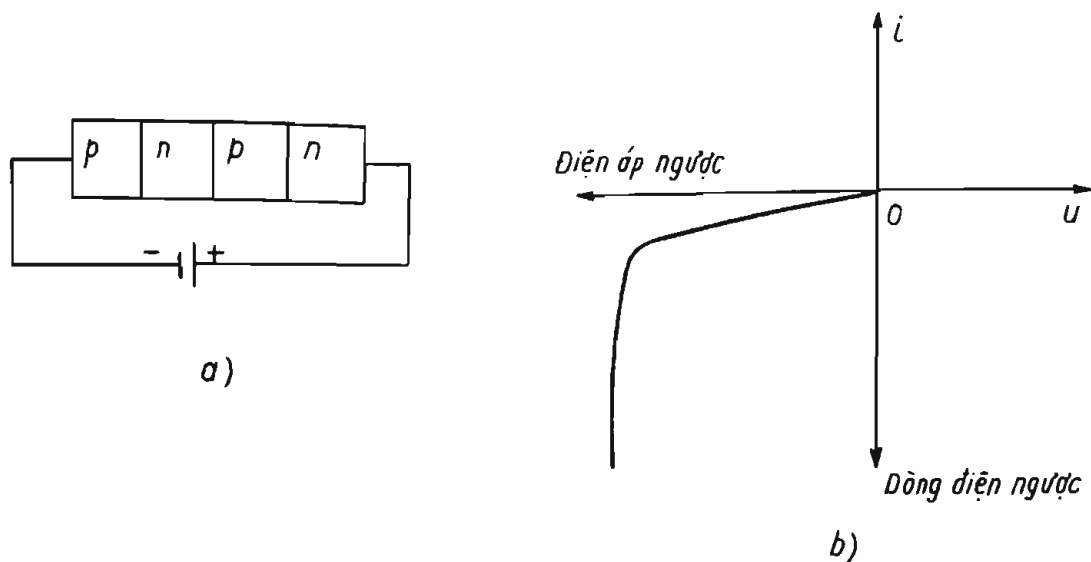


Hình 12.4

Khi ta đặt điện áp ngược lên tiristo (phân cực ngược : hình 12.5a) tiristo cho dòng điện rò khoảng vài mA chạy qua. Khi tiếp tục tăng điện áp ngược đến khoảng từ 100 V – 3000 V tùy theo loại tiristo, dòng điện ngược tăng đột ngột và tiristo bị chọc thủng (hình 12.5b).

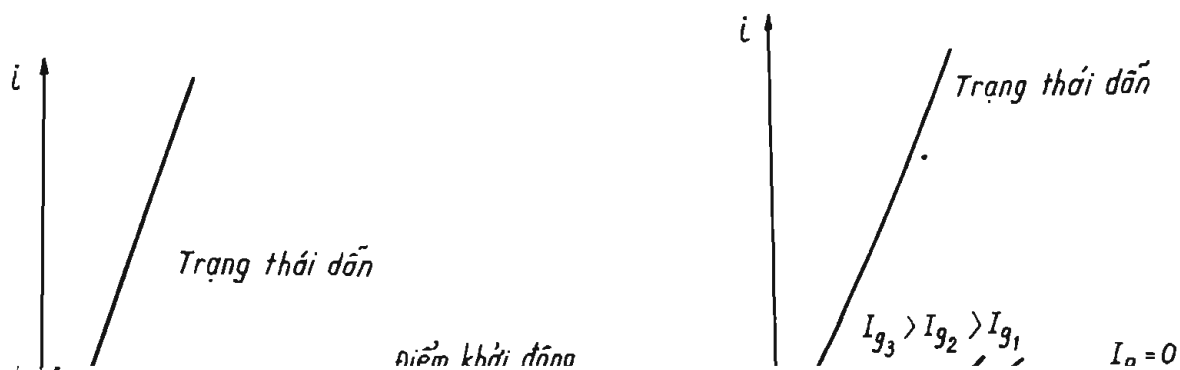
Nếu đặt điện áp thuận (phân cực thuận) điện áp anốt dương so với catốt ; tiristo ở trạng thái khóa dần dần trở nên dẫn điện. Khi điện áp thuận đạt đến trị số  $U_B$ , khi đó tiristo được mở, tiristo trở thành trạng thái dẫn. Điện áp  $U_B$  gọi là điện áp mở (hình 12.6). Điện trở thuận của tiristo vào khoảng 100 kΩ ở trạng thái khóa và trở thành 0,01 Ω ở trạng thái dẫn cho dòng điện chạy qua (hình 12.6).

Khi đặt điện áp môi vào cực điều khiển G (cực G dương so với catốt K) sẽ có dòng điện điều khiển  $I_g$ . Nhờ có dòng điện  $I_g$ , tiristo sẽ được mở với điện áp mở  $U_B$  nhỏ hơn, điểm khởi động tiristo lùi về phía trái hình 12.7, và khi  $I_g$  đạt trị số  $I_{GT}$  thì tiristo được mở lập tức.



Hình 12.5.

Khi tiristo đã chuyển sang trạng thái dẫn, thì cực điều khiển không còn tác dụng. Tiristo chỉ trở về trạng thái khóa nếu dòng điện làm việc chạy qua tiristo  $I_A$  nhỏ hơn dòng điện duy trì  $I_H$ .



- Tốc độ tăng điện áp,  $\frac{du}{dt}$  (V/ $\mu$ s)
- Dòng điện rò,  $I_{co}$  (mA).

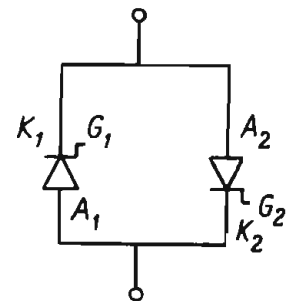
### 12.2.3. Triac (Triode Alternative Current)

Tiristo chỉ dẫn điện ở một trong hai nửa chu kỳ của điện áp xoay chiều, vì thế nếu ta nối song song ngược hai tiristo (hình 12.8) thì có thể giải quyết được sự làm việc trong cả chu kỳ của dòng điện xoay chiều.

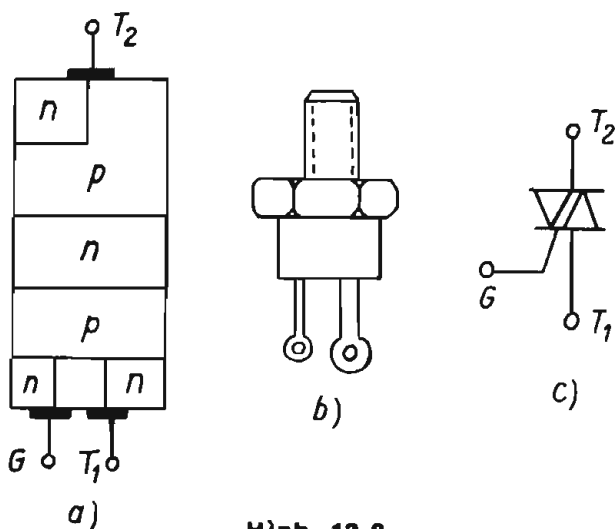
Ngày nay người ta chế tạo được một linh kiện bán dẫn thay thế cho bộ trên. Đó là triac. Triac là linh kiện điện tử có nguyên lý làm việc như 2 tiristo nối song song ngược. Về cấu tạo gồm 2 cực  $T_1$ ,  $T_2$  và chỉ có một cực điều khiển (hình 12.9a,b). Triac được ký hiệu như hình 12.9c.

Khái niệm về anốt và catốt không có ý nghĩa đối với triac, người ta gọi cực  $T_1$  là cực gắn với cực điều khiển G.

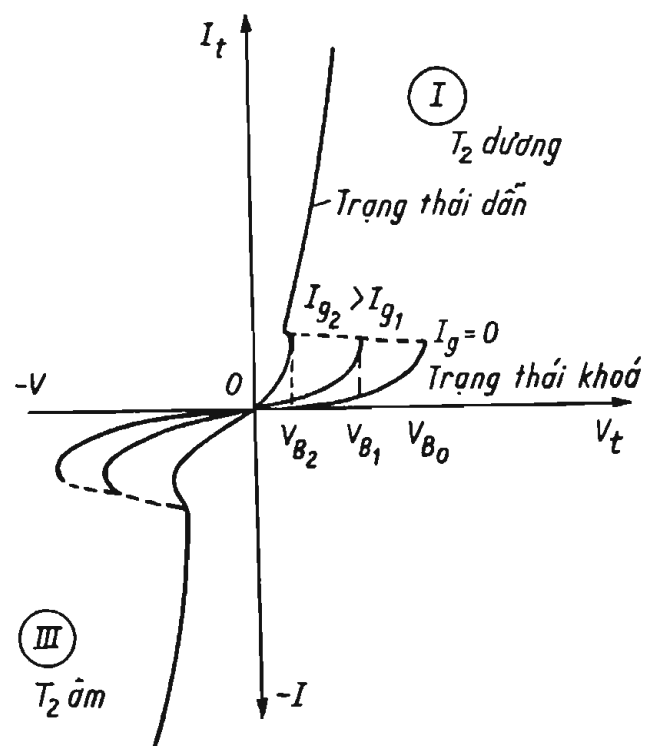
Đặc tính vôn-ampe của triac vẽ theo chiều qui ước của cực  $T_1$  trình bày trên hình 12.10 ở góc phần tư thứ nhất cực  $T_2$  dương so với  $T_1$ ; còn ở góc phần tư thứ 3 thì ngược lại, cực  $T_2$  âm với  $T_1$ . Đặc tính vôn-ampe đối xứng.



Hình 12.8.



Hình 12.9.



Hình 12.10.

Các thông số kỹ thuật cơ bản của triac là :

- Dòng điện định mức,  $I_{dm}$  (A)
- Điện áp định mức,  $U_{dm}$  (V)
- Dòng điện điều khiển,  $I_{GT}$  (mA)
- Điện áp điều khiển,  $U_G$  (V).

§ 12.3. CÁC SƠ ĐỒ CHỈNH LƯU

Bộ chỉnh lưu biến đổi điện áp xoay chiều thành điện áp một chiều. Đầu ra của chỉnh lưu là điện áp một chiều song không được lý tưởng như điện áp của ác quy vì rằng ngoài thành phần một chiều là chủ yếu còn có chứa các thành phần xoay chiều. Để khử các thành phần xoay chiều người sử dụng bộ lọc. Dưới đây chúng ta xét một số sơ đồ chỉnh lưu thường gặp.

1. Chỉnh lưu một pha nửa chu kỳ (chỉnh lưu nửa sóng)

Trước hết xét chỉnh lưu không điều khiển (chỉnh lưu diốt). Sơ đồ chỉnh lưu gồm nguồn cung cấp xoay chiều, một diốt và tải (hình 12.11a).

Giả thiết bỏ qua điện áp rơi trên diốt khi dẫn điện, điện áp trên tải được vẽ trên hình 12.11b.

Khi điện áp anốt dương so với catốt, diốt dẫn điện tương tự như khóa chuyển mạch ở vị trí đóng. Khi điện áp anốt âm so với catốt, diốt ngừng dẫn, dòng điện triệt tiêu như một khóa chuyển mạch ở trạng thái mở, lúc này toàn bộ điện áp nguồn đặt lên diốt.

Giả thiết bỏ qua điện áp rơi trên diốt khi dẫn điện. Trên hình 12.11b vẽ dạng sóng điện áp nguồn  $u_s$ , điện áp trên tải thuận trở  $u_c$ , dòng điện qua tải  $i_c$  và điện áp đặt lên diốt khi không dẫn (điện áp ngược).

Nếu điện áp nguồn là

$$u_s = U_{\max} \sin \omega t$$

Điện áp chỉnh lưu trung bình đặt lên tải là :

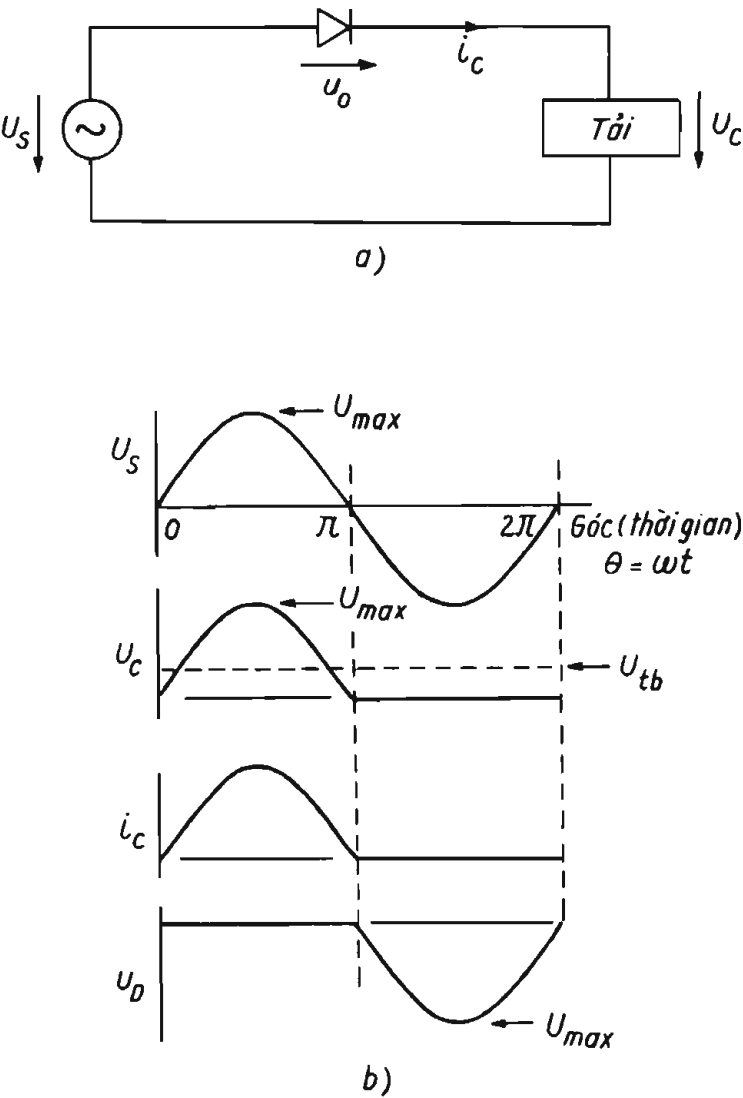
$$\begin{aligned} U_{ctb} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi U_{\max} \sin \theta d\theta = \\ &= \frac{U_{\max}}{\pi} , \end{aligned} \tag{12.1}$$

trong đó  $\theta = \omega t$ .

Điện áp ngược cực đại đặt lên diốt là

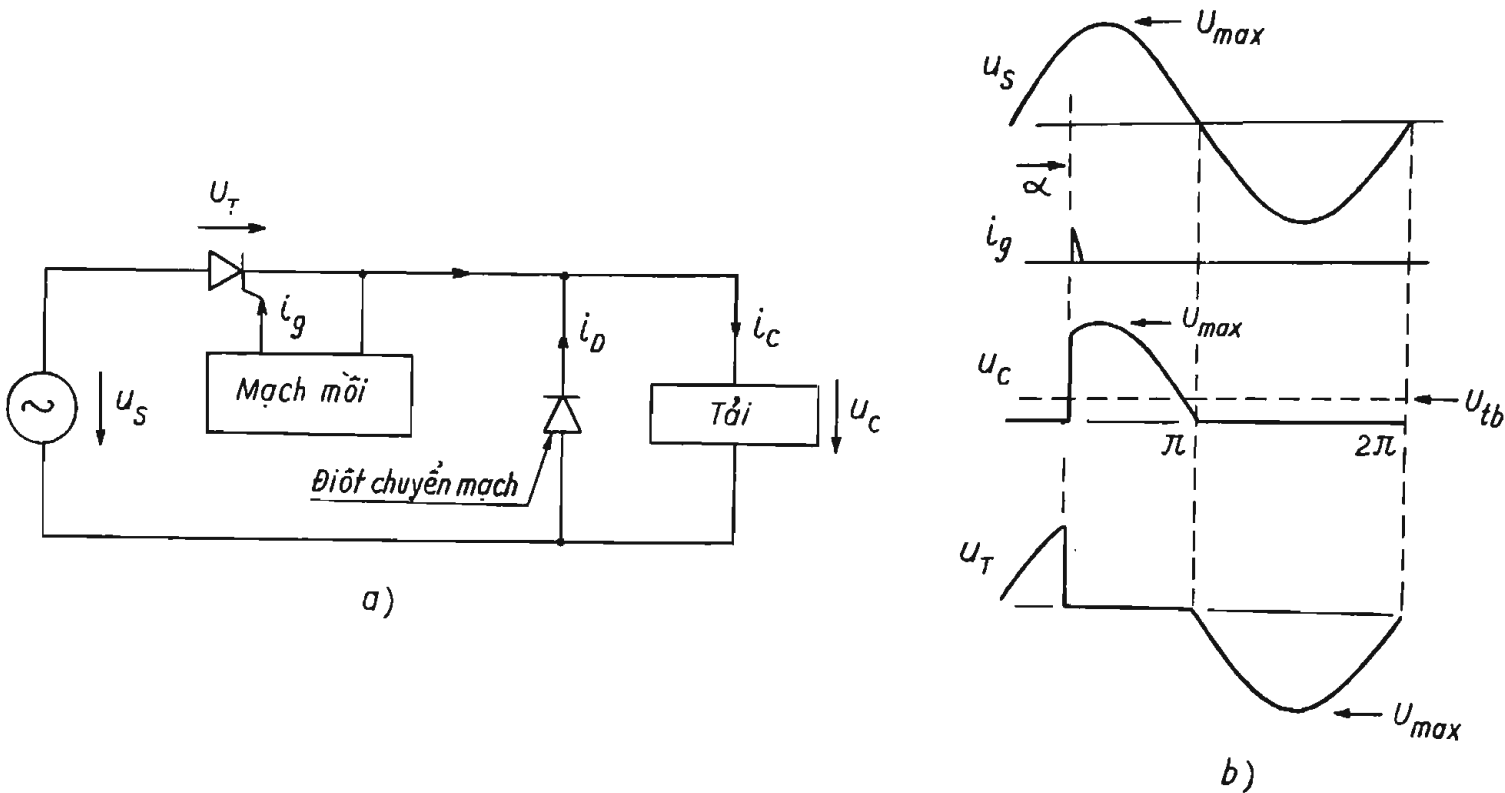
$$U_{ng \max} = U_{\max} \text{ của nguồn.} \tag{12.2}$$

Nếu thay diốt bằng tiristo ta có chỉnh lưu có điều khiển (chỉnh lưu tiristo). Sơ đồ chỉnh lưu gồm nguồn xoay chiều một tiristo với mạch mỗi, một diốt không (diốt chuyển mạch) để ngăn điện áp chỉnh lưu đổi chiều (hình 12.12a).



Hình 12.11.

Tiristo chỉ dẫn điện khi điện áp đặt vào tiristo  $u_T$  và có xung dòng điện điều khiển  $i_G$ . Tiristo dẫn điện trễ đi một góc  $\alpha$ . Trên hình 12.12b vẽ dạng sóng nguồn  $u_s$ , dòng điện xung điều khiển  $i_g$ , điện áp chỉnh lưu trên tải  $u_c$ , điện áp đặt lên tiristo  $u_T$ .



Hình 12.12.

Điện áp chỉnh lưu trung bình trên tải

$$U_{ctb} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{max} \sin\theta d\theta$$

$$U_{ctb} = \frac{U_{max}}{2\pi} (1 + \cos\alpha), \tag{12.3}$$

trong đó  $\alpha$  là góc mở.

Góc mở càng lớn, điện áp trung bình trên tải càng nhỏ. Điện áp ngược cực đại đặt lên tiristo là điện áp cực đại của nguồn:

$$U_{ngmax} = U_{max} . \tag{12.4}$$

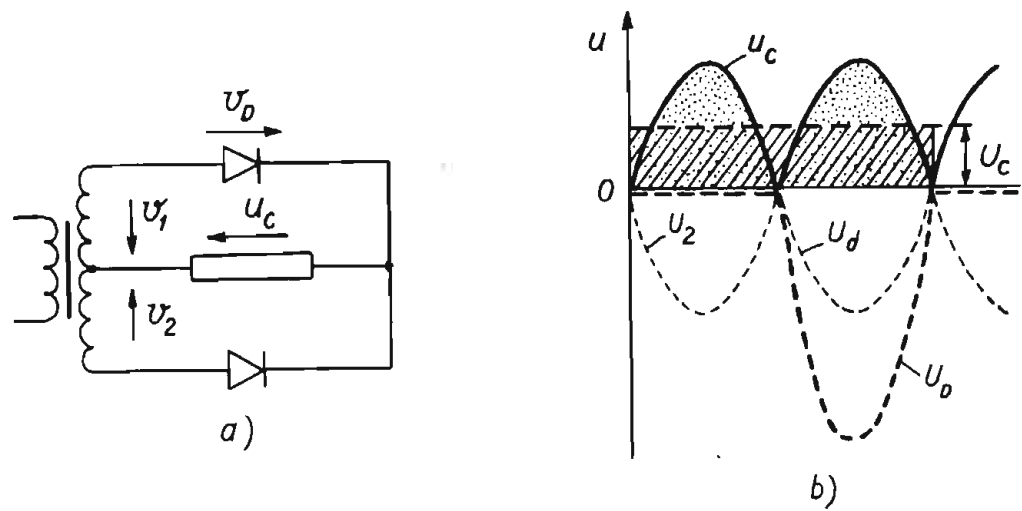
### 2. Chỉnh lưu một pha hai nửa chu kỳ (chỉnh lưu toàn sóng)

a) Dùng máy biến áp thứ cấp có điểm giữa N đưa ra.

Sơ đồ chỉnh lưu (hình 12.13a) gồm máy biến áp thứ cấp có điểm giữa N, hai diốt (chỉnh lưu không điều khiển hoặc hai tiristo – chỉnh lưu có điều khiển). Trong sơ đồ có hai thành phần điện áp  $u_1$  và  $u_2$  ngược chiều đối với điểm giữa N.

Khi  $u_1$  dương,  $u_2$  âm diốt  $D_1$  dẫn cung cấp dòng điện cho tải ; Khi  $u_1$  âm,  $u_2$  dương, diốt  $D_2$  dẫn cung cấp dòng điện cho tải, diốt  $D_1$  khóa.

Trên hình 12-2b vẽ dạng sóng  $u_1$ ,  $u_2$ , điện áp trên tải  $u_c$  và điện áp ngược  $u_D$  đặt lên diốt.



Hình 12.13.

Điện áp chỉnh lưu trung bình đặt lên tải là :

$$U_{ctb} = \frac{2U_{\max}}{\pi} \tag{12.5}$$

Điện áp ngược cực đại đặt lên mỗi diốt là :

$$U_{ng\max} = U_{\max} \tag{12.6}$$

trong đó  $U_{\max}$  là điện cực đại dây quấn thứ cấp máy biến áp

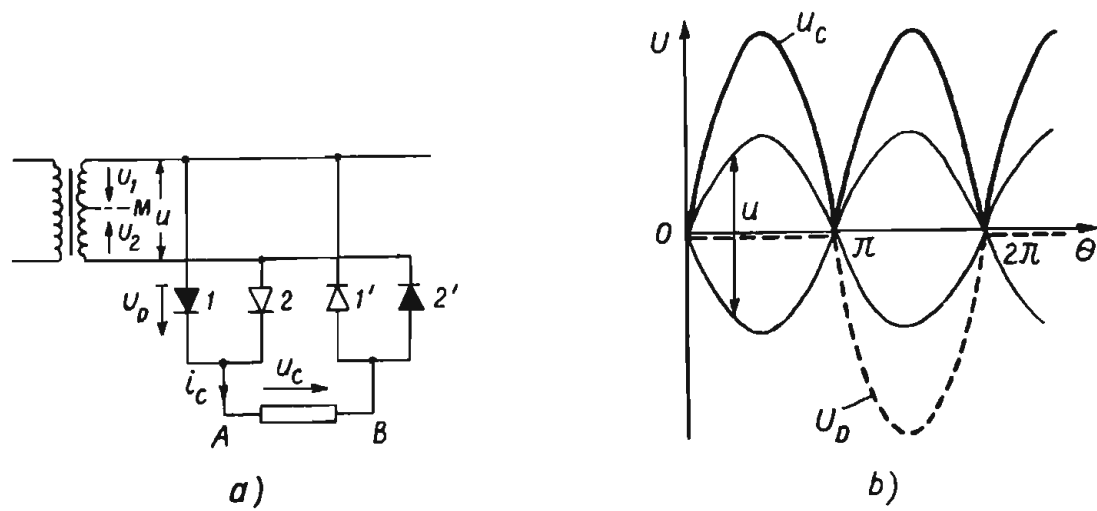
$$U_{\max} = 2U_{1\max} = 2U_{2\max} .$$

b) Chỉnh lưu cầu một pha

Sơ đồ mạch chỉnh lưu gồm nguồn xoay chiều  $u_s$ , 4 diốt mắc theo sơ đồ cầu và tải (hình 12.14a).

Khi điện áp nguồn  $u_s$  dương hai diốt  $D_1$  và  $D_2$  dẫn điện khi điện áp nguồn  $u_s$  âm hai diốt  $D_3$  và  $D_4$  dẫn điện.

Trên hình 12.14b vẽ dạng sóng điện áp nguồn  $u_s$ , điện áp chỉnh lưu trên tải  $u_c$  và điện áp ngược đặt lên diốt (chỉ vẽ điện áp ngược  $u_D$  đặt lên diốt  $D_1$ ).



Hình 12.14.

Điện áp chỉnh lưu trung bình đặt lên tải :

$$U_{ctb} = \frac{2U_{max}}{\pi} \quad (12.7)$$

Điện áp ngược cực đại đặt lên mỗi diốt bằng điện áp cực đại của nguồn:

$$U_{ngmax} = U_{max} \quad (12.8)$$

### 3. Chỉnh lưu ba pha hình tia

Sơ đồ chỉnh lưu gồm dây quấn thứ cấp máy biến áp có điểm trung tính lấy ra ; ba diốt (hoặc tiristo) nối với ba pha thứ cấp, tải nối với điểm trung tính (hình 12.15a).

Ở mọi thời điểm  $t$ , chỉ có một diốt dẫn điện là diốt nối với pha có trị số tức thời dương lớn nhất. Khi  $u_1$  là pha có trị số điện áp dương lớn nhất diốt  $D_1$  dẫn điện, nhưng khi  $u_2$  trở nên dương hơn  $u_1$  thì dòng điện tải chuyển từ diốt  $D_1$  sang diốt  $D_2$  ( $D_1$  bị khóa). Trên hình 12.15b vẽ điện áp nguồn  $u_1, u_2, u_3$  ; điện áp trên tải  $u_c$  và điện áp đặt lên diốt  $D_1$ .

Điện áp chỉnh lưu trung bình đặt lên tải

$$U_{ctb} = \frac{3}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} U_{max} \sin \theta d\theta$$

$$U_{ctb} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_{max} \quad (12.9)$$

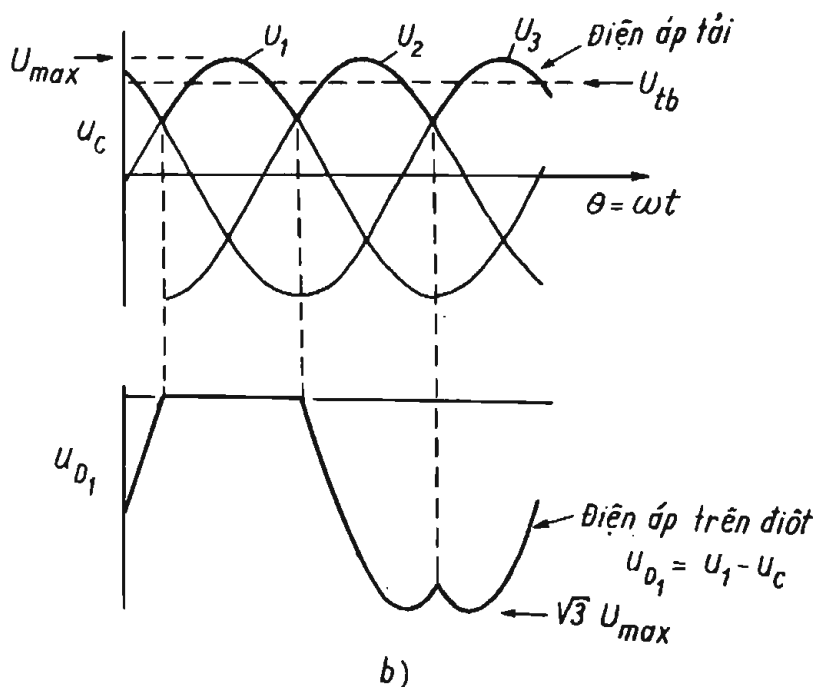
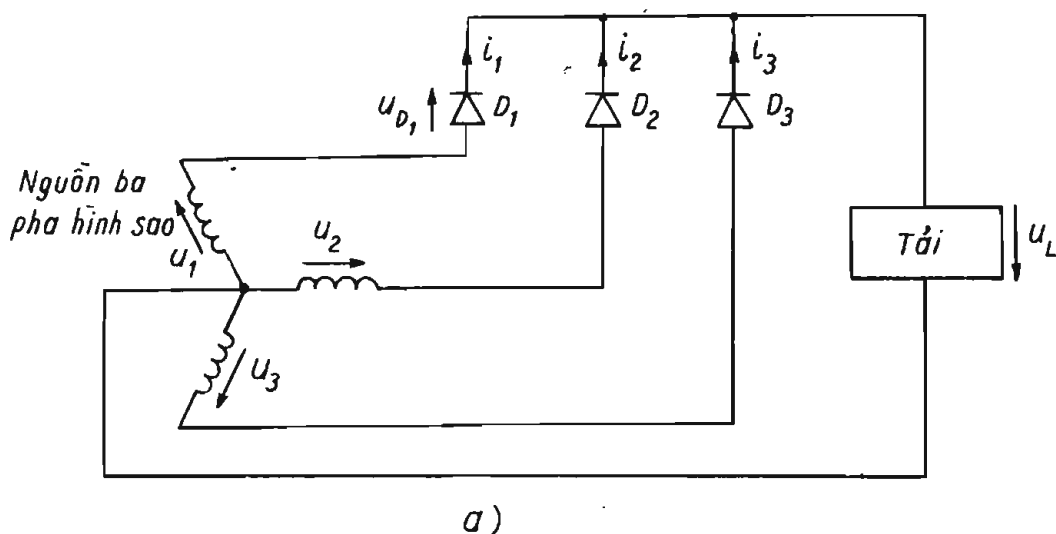
Điện áp ngược cực đại đặt lên mỗi diốt

$$U_{ngmax} = \sqrt{3} U_{max} \quad (12.10)$$

trong đó  $U_{max}$ : điện áp pha cực đại thứ cấp của máy biến áp.

Nhìn dạng sóng điện áp chỉnh lưu thấy rằng hệ số đập mạch nhỏ và có thể coi rằng dòng điện chỉnh lưu là liên tục và bằng phẳng.

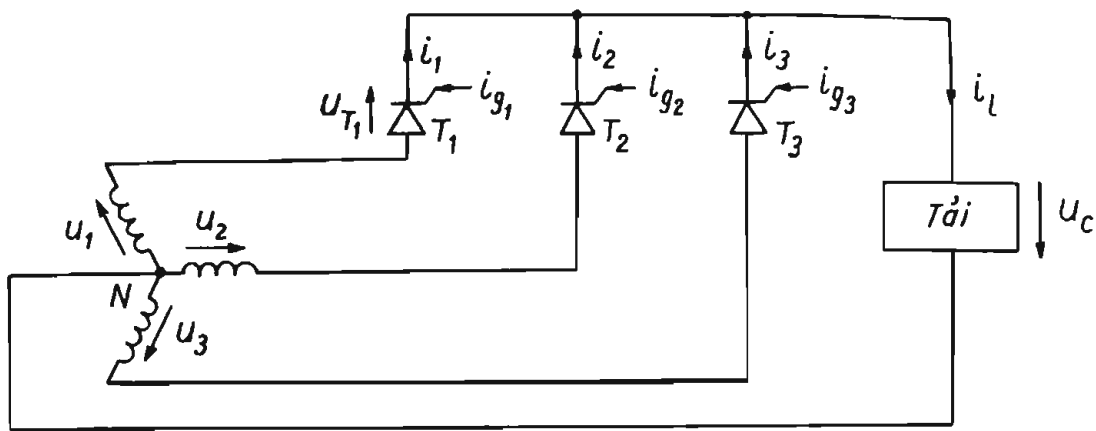
Nếu thay các diốt bằng các tiristo (hình 12.16a) ta có sơ đồ chỉnh lưu ba pha hình



Hình 12.15.



tia có điều khiển. Bằng cách thay đổi góc mở  $\alpha$  có thể điều chỉnh được điện áp chỉnh lưu trên tải.



a)

Trên hình 12.16b vẽ dạng sóng điện áp nguồn  $u_1, u_2, u_3$ , xung dòng điện điều khiển tiristo  $i_1, i_2, i_3$ , điện áp trên tải  $u_c$  và điện áp ngược  $u_{T1}$  đặt vào tiristo  $T_1$ .

Điện áp chỉnh lưu trung bình trên tải

$$U_{ctb} = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha} U_{max} \sin\theta d\theta$$
$$U_{ctb} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_{max} \cos\alpha \quad (12.11)$$

Điện áp ngược cực đại đặt lên mỗi tiristo là

$$U_{ngmax} = \sqrt{3} U_{max}$$

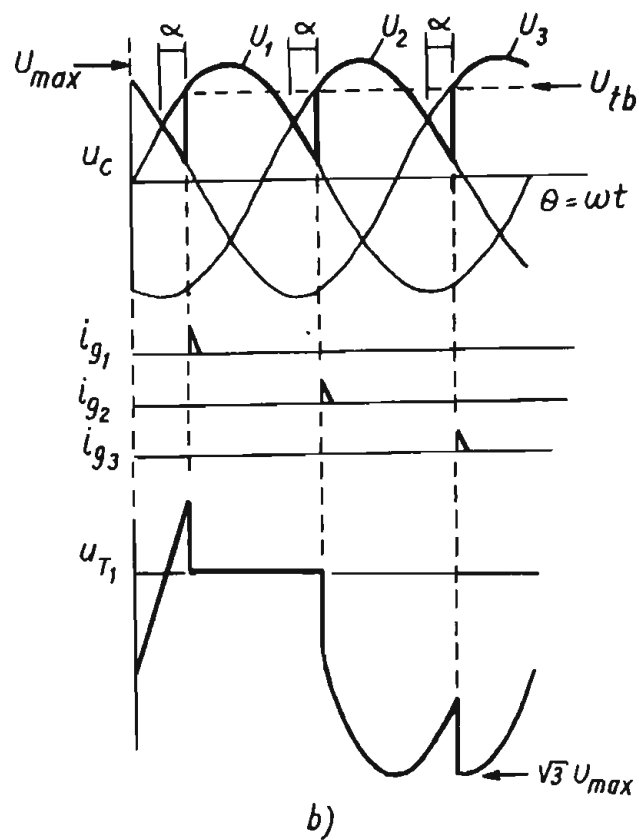
4. Chỉnh lưu cầu ba pha

Sơ đồ chỉnh lưu gồm nguồn ba pha, sáu diốt và tải (hình 12.17). Chỉnh lưu cầu ba pha là chỉnh lưu hai nửa chu kỳ. So với sơ đồ hình tia điện áp chỉnh lưu bằng phẳng hơn, và điện áp chỉnh lưu trung bình gấp 2 lần so với chỉnh lưu ba pha hình tia

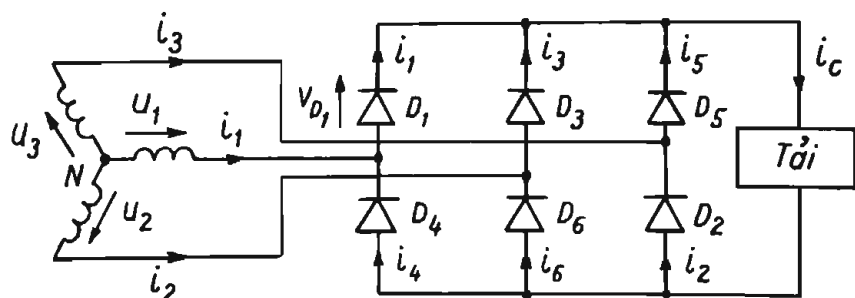
$$U_{ctb} = 2 \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_{pha \max} =$$
$$= \frac{3}{\pi} U_{dây \max} \quad (12.12)$$

Điện áp ngược đặt lên mỗi diốt là

$$U_{ng \max} = \sqrt{3} U_{pha \max} =$$
$$= U_{dây \max} \quad (12.13)$$

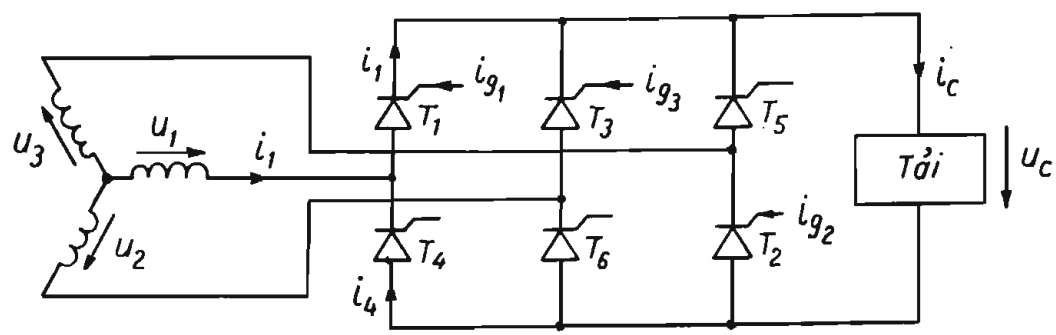


Hình 12.16.



Hình 12.17.

Nếu thay các diốt bằng các tiristo, ta có chỉnh lưu cầu ba pha có điều khiển (hình 12.18).



Hình 12.18.

Điện áp chỉnh lưu trung bình trên tải

$$U_{ctb} = \frac{3}{\pi} U_{dây\ max} \cos\alpha \tag{12.14}$$

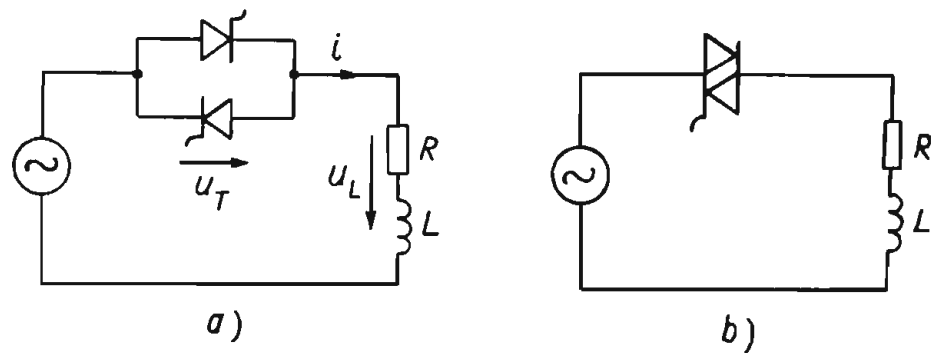
Bằng cách thay đổi góc mở  $\alpha$ , ta có thể điều chỉnh được điện áp đặt lên tải.

Điện áp ngược cực đại đặt lên mỗi tiristo

$$U_{ng\ max} = \sqrt{3} U_{pha\ max} = U_{dây\ max} \tag{12.15}$$

### § 12.4. BIẾN ĐỔI ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU

Để biến đổi điện áp xoay chiều một pha ta có thể dùng hai tiristo nối song song ngược (hình 12.19a) hoặc dùng triac (hình 12.19b). Sơ đồ dùng triac đơn giản hơn sơ đồ dùng hai tiristo nối song song ngược vì chỉ có một mạch điều khiển nhưng có công suất nhỏ hơn.



Hình 12.19.

Do có thể điều chỉnh được góc mở  $\alpha$  ta có thể điều chỉnh được trị số điện áp trên tải. Hình 12.20 vẽ hình dáng dòng điện qua tiristo và điện áp trên tải của bộ biến đổi điện áp xoay chiều có tải R - L. Ta nhận thấy điện áp trên tải không sin rõ rệt vì thế sơ đồ hình 12.19 chỉ thích ứng với điều khiển các tải đốt nóng hoặc chiếu sáng.

Nếu tải thuần trở R thì công suất trên tải

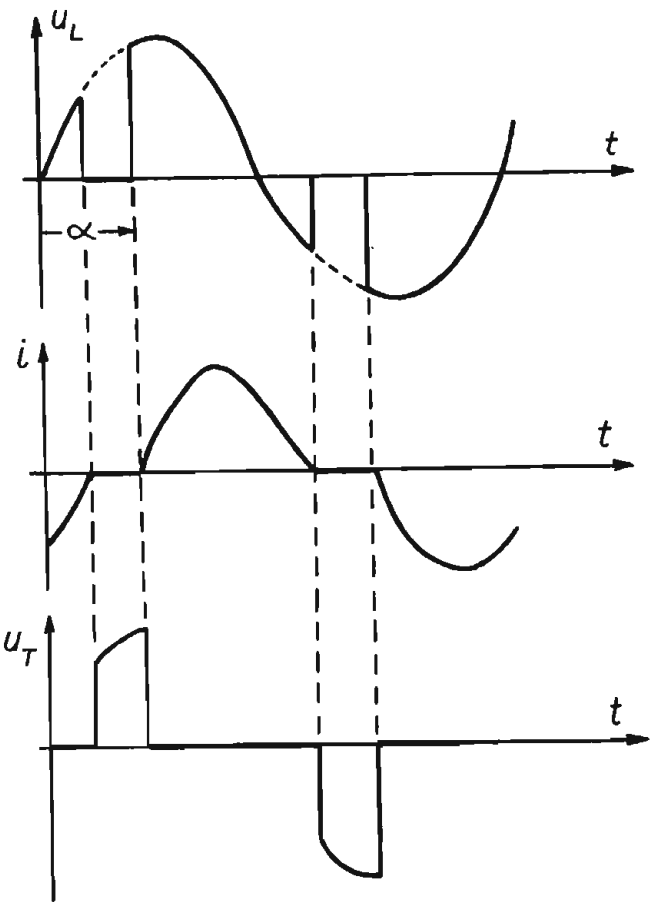
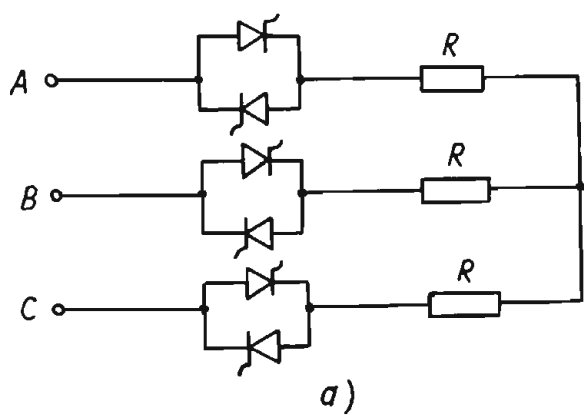
$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{1}{\pi R} \int_{\alpha}^{\pi} (U_{\max} \sin\theta)^2 d\theta = \frac{U^2}{\pi R} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha) \tag{12.16}$$

$\alpha$  là góc mở của tiristo.

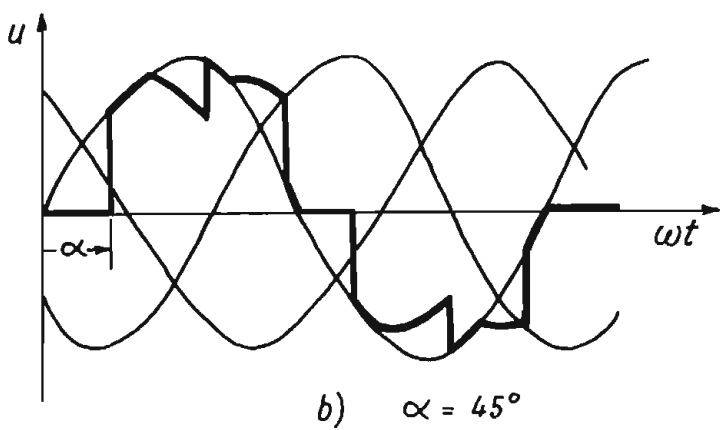
Khi  $\theta < \alpha < \pi$  công suất tác dụng của tải có thể điều chỉnh từ  $P_{\max} = \frac{U^2}{R}$  đến 0.

Để biến đổi điện áp xoay chiều ba pha ta dùng sơ đồ hình 12.21a trong đó mỗi pha có 2 tiristo nối song song ngược. Tải có thể nối sao hoặc tam giác. Để có dòng điện qua tải thì tiristo ở hai hoặc ba pha phải ở trạng thái mở. Khi hai pha cùng dẫn thì điện áp tức thời trên tải bằng một nửa điện áp dây của hai pha đang xét. Khi tiristo ở cả ba pha cùng dẫn thì điện áp trên tải bằng điện áp pha tương ứng. Hình dáng của điện áp pha của tải phụ thuộc rất nhiều vào góc mở  $\alpha$ . Khi  $\alpha \geq 30^\circ$  điện áp pha của tải là một đoạn hình sin.

Khi  $\alpha > 90^\circ$  thì dòng điện từng pha sẽ bị gián đoạn còn khi  $\alpha > 150^\circ$  thì dòng điện tải bằng không vì lúc này điện áp anốt - catốt trên hai tiristo có giá trị âm. Hình 12.12b là dạng sóng điện áp trên tải ba pha thuận trở ứng với góc mở  $\alpha = 45^\circ$ .



Hình 12.20.



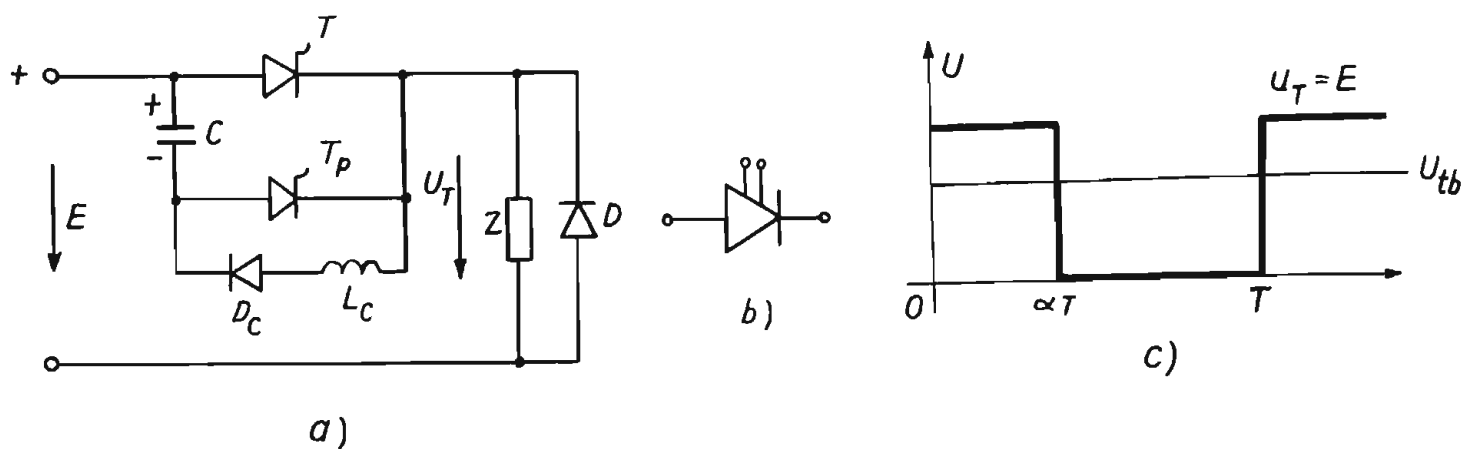
Hình 12.21.

### § 12.5. BỘ BẮM ĐIỆN ÁP MỘT CHIỀU

Bộ băm điện áp một chiều còn gọi là khóa chuyển mạch điện tử hoặc công tắc tơ tĩnh dùng để biến đổi trị số điện áp, dòng điện một chiều dựa trên nguyên lý đóng ngắt có chu kỳ nguồn điện một chiều. Sơ đồ bộ băm điện áp một chiều cho

trên hình 12.22a gồm có T là tiristo chính ;  $T_p$  là tiristo phụ cùng với các phần tử chuyển mạch C,  $L_c$ ,  $D_c$  dùng để khóa tiristo chính. D là diốt hoàn năng lượng cho tải. Sơ đồ ký hiệu của bộ băm điện áp một chiều cho trên hình 12.22b.

Ở trạng thái ban đầu T và  $T_p$  đều bị khóa. Tụ C được nạp với cực tính như hình vẽ. Cho xung điều khiển mở tiristo chính làm T mở, dòng điện từ cực dương của nguồn qua T và mạch tải và trở về cực âm của nguồn. Tụ C phóng điện qua  $T - L_c - D_c - C$  và được nạp với cực tính ngược lại. Điện áp trên tải  $U_T = E$ .



Hình 12.22.

Nếu cho xung mở vào tiristo phụ, tiristo này mở đặt điện áp ngược của tụ điện C lên tiristo chính khiến T bị khóa lại, điện áp trên tải  $U_T = 0$ .

Gọi  $T$  là chu kỳ

$T_1$  là thời gian đóng mạch của tiristo chính  $T_1 = \alpha T, 0 \leq \alpha \leq 1$

$T_2$  là thời gian hở mạch của tiristo chính.

Điện áp trung bình trên tải

$$U_{tb} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} U dt = \alpha E \tag{12.17}$$

Bằng cách thay đổi tỷ số chu kỳ  $\alpha = \frac{T_1}{T}$  ta có thể điều chỉnh được điện áp trung bình trên tải. Hình 12.22c biểu diễn điện áp trung bình trên tải.

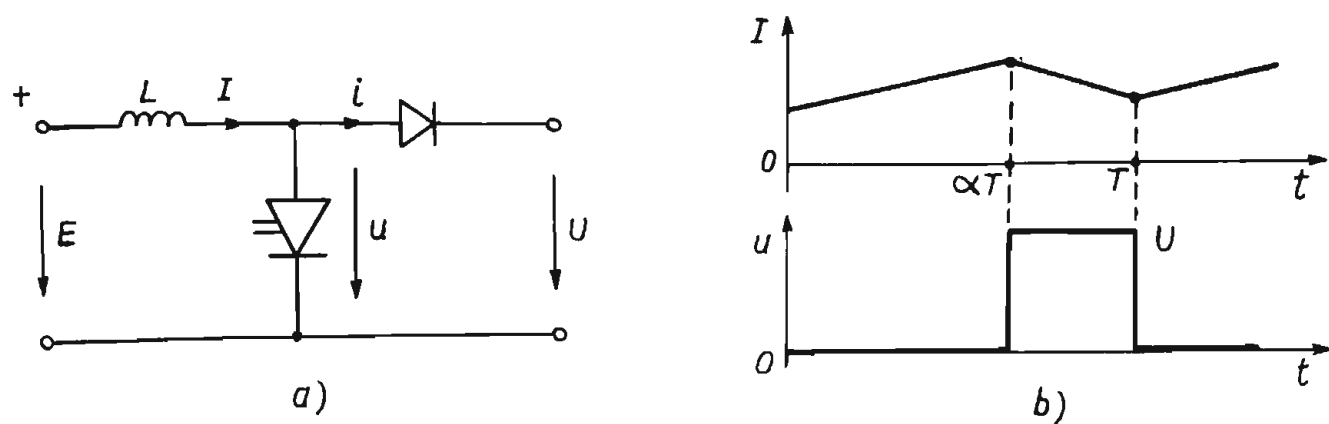
Trong sơ đồ hình 12.22a bộ băm được mắc nối tiếp với tải điện áp trên tải có thể điều chỉnh từ 0 đến điện áp nguồn U.

Bộ băm cũng có thể được mắc song song với tải như sơ đồ hình 12.23a.

Trong khoảng thời gian  $0 < t < \alpha T$  bộ băm dẫn, điện áp trên tải bằng không. Trong khoảng  $\alpha T < t < T$  bộ băm bị khóa, điện áp trên tải lấy bằng E. Từ đó suy ra

$$\begin{aligned} U(1 - \alpha) &= E \\ U &= \frac{E}{1 - \alpha} \end{aligned} \tag{12.18}$$

Vì  $0 < \alpha < 1$  bộ băm điện áp trên tải U lớn hơn điện áp nguồn E. Đồ thị dòng điện và điện áp của bộ băm mắc song song cho trên hình 12.23b.



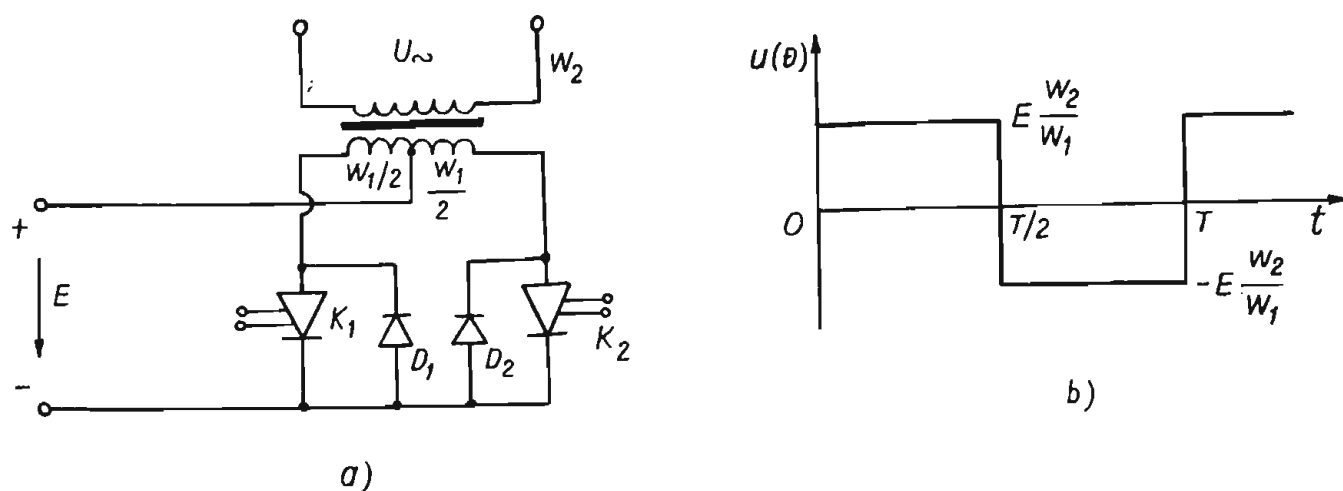
Hình 12.23.

## § 12.6. BỘ NGHỊCH LƯU

Bộ nghịch lưu là thiết bị tạo ra dòng điện xoay chiều có tần số mong muốn từ nguồn điện một chiều. Theo số pha ta có thể phân loại bộ nghịch lưu một pha và bộ nghịch lưu ba pha. Dưới đây ta xét nguyên lý của bộ nghịch lưu một pha.

### 12.6.1. Bộ nghịch lưu áp một pha

Trên sơ đồ hình 12.24a nếu  $S_v$  là nguồn áp một chiều, bộ băm  $K_1$  và  $K_2$  có khoảng thời gian làm việc  $\alpha = 0,5$  lần lượt đóng mở một cách chu kỳ thì điện áp  $u(t)$  ở thứ cấp máy biến áp là xoay chiều biến thiên từ  $+\frac{w_2}{w_1} E$  và  $-\frac{w_2}{w_1} E$ . Đồ thị điện áp  $u(t)$  cho trên hình 12.24b. Điều khiển sao cho  $K_1$  đóng,  $K_2$  mở và ngược lại  $K_1$  mở,  $K_2$  đóng một cách chu kỳ ta nhận được đường cong điện áp xoay chiều trên hình 12.24b. Các diốt  $D_1$ ,  $D_2$  đóng vai trò hoàn năng lượng khi các bộ băm ở trạng thái khóa.

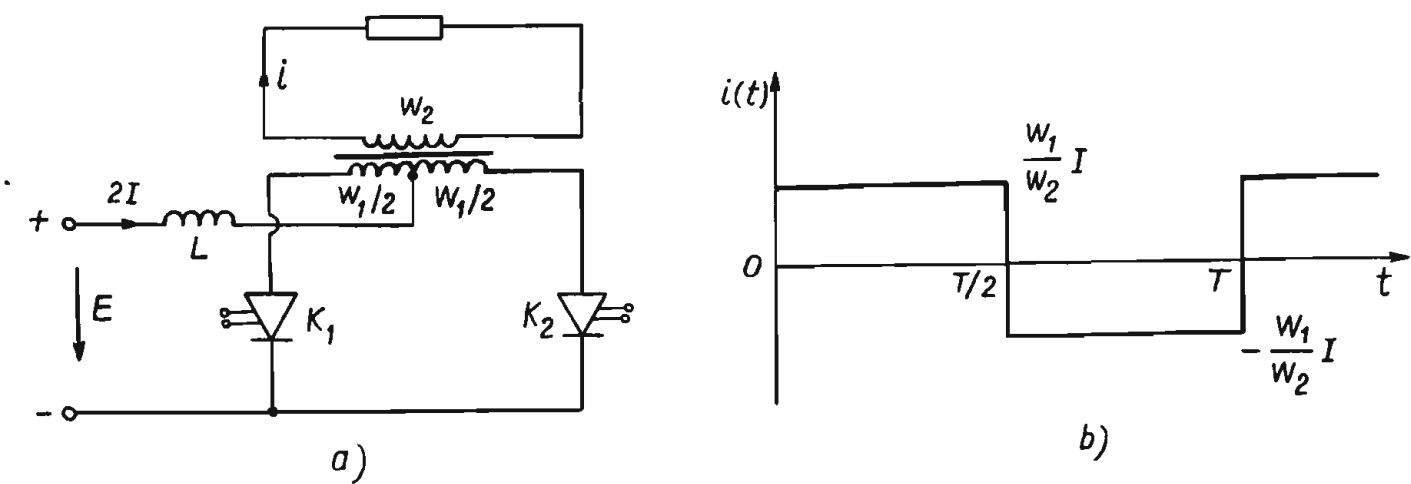


Hình 12.24.

### 12.6.2. Bộ nghịch lưu dòng một pha

Trong bộ nghịch lưu dòng đầu vào được nối tiếp với điện cảm L lớn để giữ cho dòng điện vào I là không đổi (hình 12.25a). Sơ đồ hình 12.25a dùng máy biến

áp có điểm giữa. Các bộ băm  $K_1$  và  $K_2$  đóng mở một cách chu kỳ với  $\alpha = 0,5$ , dòng điện thứ cấp của máy biến áp biến thiên từ  $+\frac{w_1}{w_2} I$  đến  $-\frac{w_1}{w_2} I$ . Đồ thị biến thiên của dòng điện tải  $i$  cho trên hình 12.25b.



Hình 12.25.

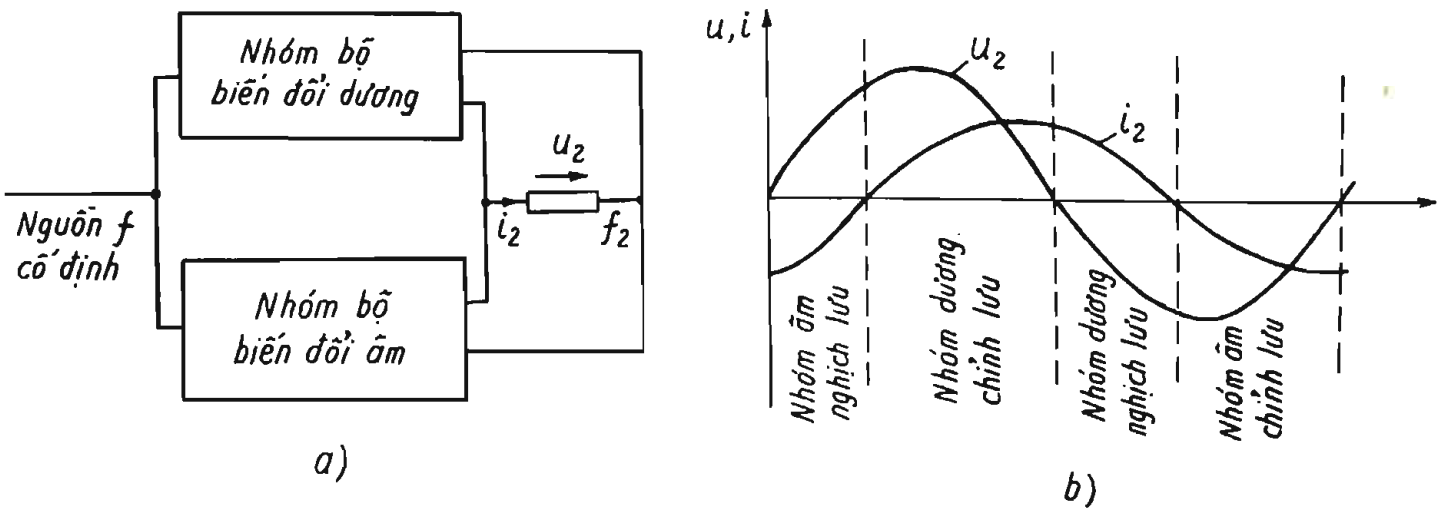
## § 12.7. BỘ BIẾN TẦN

Bộ biến tần là thiết bị biến đổi điện áp xoay chiều tần số  $f_1$  sang tần số khác biến đổi được là  $f_2$ . Các bộ biến tần thường được phân thành hai loại :

- Biến tần trực tiếp.
- Biến tần gián tiếp.

### 12.7.1. Bộ biến tần trực tiếp

Bộ biến tần trực tiếp thường được sử dụng để điều chỉnh tốc độ của động cơ không đồng bộ và động cơ đồng bộ. Vì tần số  $f_2$  luôn nhỏ hơn  $f_1$  bộ biến tần trực tiếp thường dùng để điều chỉnh tốc độ động cơ quay với tốc độ thấp. Hình 12.26a là sơ đồ khối của bộ biến tần trực tiếp. Sơ đồ gồm hai khối bộ biến đổi. Nhóm bộ biến đổi dương cung cấp cho tải dòng điện  $i_2$  khi tải đòi hỏi dòng điện dương. Nhóm



Hình 12.26.

bộ biến đổi âm cung cấp dòng  $i_2$  khi tải đòi hỏi dòng điện âm. Công suất trên tải biến thiên theo bốn giai đoạn. Trong hai khoảng thời gian có tích số điện áp và dòng điện dương do đó công suất dương theo chiều từ nguồn đến tải, bộ biến đổi ở chế độ chỉnh lưu. Trong hai khoảng có tích số điện áp và dòng điện âm do đó công suất âm theo chiều từ tải đến nguồn, nhóm bộ biến đổi làm việc ở chế độ nghịch lưu (hình 12.26b).

Để cho điện áp trên tải  $U_2$  có cùng giá trị trung bình trong cả hai chiều thì các góc mở  $\alpha_1$  và  $\alpha_2$  phải thoả mãn điều kiện

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi \tag{12.19}$$

và điện áp trung bình

$$U_2 = U_o \cos\alpha_1 = - U_o \cos\alpha_2 \tag{12.20}$$

$U_o \cos\alpha_1$  là điện áp trung bình do nhóm bộ biến đổi dương cung cấp  
 $- U_o \cos\alpha_2$  là điện áp trung bình do nhóm bộ biến đổi âm cung cấp.

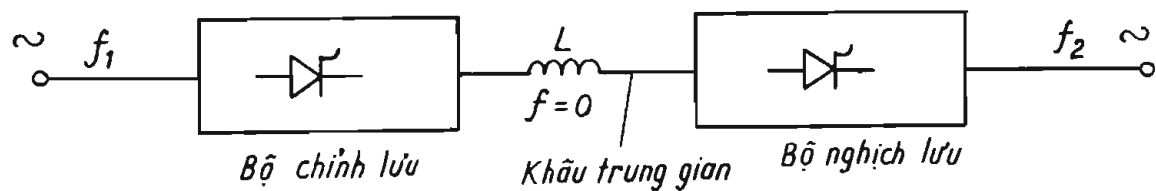
### 12.7.2. Bộ biến tần gián tiếp

Bộ biến tần gián tiếp thường bao gồm ba khâu :

- Chỉnh lưu : biến đổi nguồn xoay chiều tần số  $f_1$  thành nguồn một chiều.
- Khâu trung gian giữ cho điện áp hoặc dòng điện chỉnh lưu không đổi.
- Khâu nghịch lưu : biến đổi nguồn một chiều thành nguồn xoay chiều tần số  $f_2$ .

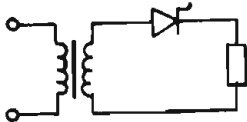
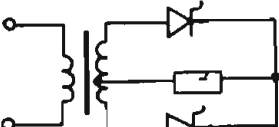
Sơ đồ khối bộ biến đổi tần gián tiếp cho trên hình 12.27.

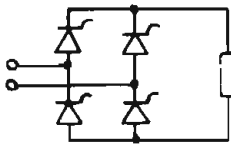
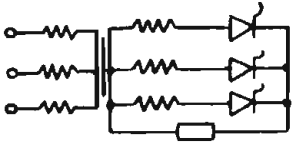
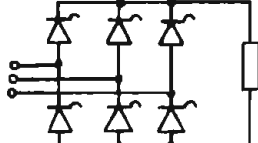
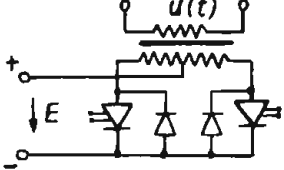
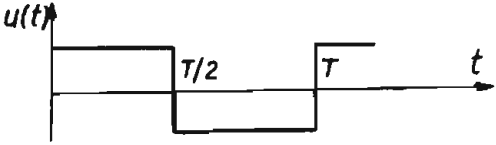
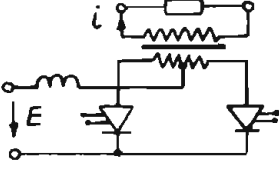
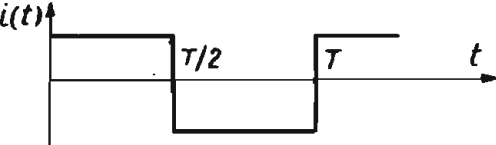
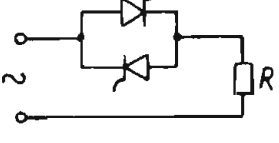
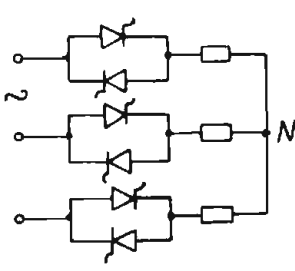
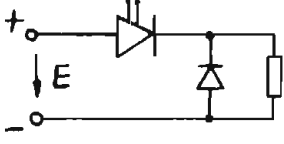
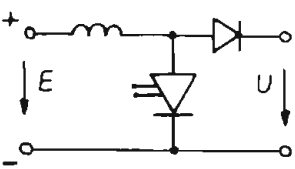
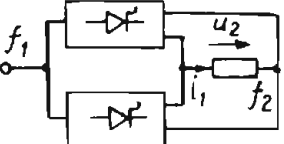
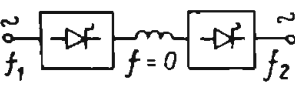
Sơ đồ các bộ biến tần ba pha dùng để điều chỉnh tốc độ động cơ đồng bộ và động cơ không đồng bộ được giới thiệu kỹ ở chương 13 mục 13.5.



Hình 12.27.

Bảng tóm tắt chương 12

Bộ biến đổi	Phân loại	Sơ đồ	Đặc điểm
Chỉnh lưu	Một nửa chu kỳ		$U_{tb} = \frac{U_{max}}{2\pi} (1 + \cos\alpha)$ ; $U_{ng} = U_{max}$
	Hai nửa chu kỳ máy biến áp có điểm giữa		$U_{tb} = \frac{2U_{max}}{2\pi} \cos\alpha$ ; $U_{ng} = 2U_{max}$

	Cầu một pha		$U_{th} = \frac{U_{max}}{\pi} (1 + \cos\alpha) ; U_{ng} = U_{max}$
	Ba pha hình tia		$U_{th} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_{max} \cos\alpha ; U_{ng} = \sqrt{3} U_{max}$
	Cầu ba pha		$U_{th} = \frac{3}{\pi} U_{dmax} \cos\alpha ; U_{ng} = U_{dmax}$
Nghịch lưu	Nghịch lưu áp một pha		
	Nghịch lưu dòng một pha		
Bộ biến đổi điện áp xoay chiều	Một pha		$P = \frac{U^2}{\pi R} (\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha)$
	Ba pha		$U_{an} = \sqrt{2} U \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[ \frac{\pi}{2} - \frac{3}{4} \left( \alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right] ; 0 < \alpha < \frac{\pi}{3}}$ $U_{an} = \sqrt{2} U \sqrt{\frac{3}{4\pi} \left( \frac{\pi}{3} + \frac{3}{4} \sin 2\alpha + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos 2\alpha \right) ; \frac{\pi}{3} < \alpha < \frac{\pi}{2}}$ $U_{an} = \frac{\sqrt{2}}{2} U \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( \frac{5\pi}{2} - 3\alpha + \frac{3\sqrt{3}}{4} \cos 2\alpha + \frac{3}{4} \sin 2\alpha \right) ; \frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{5\pi}{6}}$
Bộ hàm điện áp một chiều	Nối tiếp		$U_{th} = \alpha E$
	Song song		$U_{th} = \frac{E}{1 - \alpha}$
Biến tần	Trực tiếp		$\alpha_1 + \alpha_2 = \pi$ $U_2 = U_o \cos \alpha_1 = - U_o \cos \alpha_2$
	Gián tiếp		



## CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 12

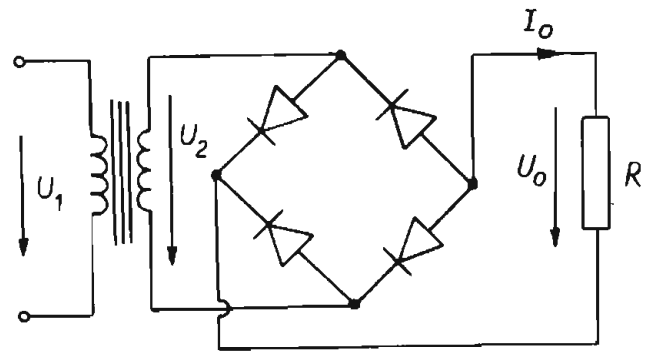
1. Cấu tạo, nguyên lý làm việc và các đặc tính của tiristo và triac.
2. Các sơ đồ chỉnh lưu cơ bản. Dạng sóng, điện áp trung bình và điện áp ngược của từng sơ đồ.
3. Các sơ đồ nghịch lưu áp và dòng. Dạng sóng điện áp và dòng của các sơ đồ nghịch lưu một pha
4. Sơ đồ bộ biến đổi điện áp xoay chiều một pha và ba pha. Dạng sóng điện áp trên tải
5. Nguyên lý làm việc của bộ băm điện áp một chiều nối tiếp và song song
6. Nguyên lý làm việc của các bộ biến tần trực tiếp và gián tiếp.

## BÀI TẬP CHƯƠNG 12

### Bài số 12.1.

Cho sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha (hình 12.28)

- a) Nếu muốn được điện áp chỉnh lưu  $U_o = 15 \text{ V}$  thì trị số cực đại của điện áp thứ cấp của máy biến áp  $U_{2\max}$  bằng bao nhiêu ?
- b) Biết  $U_1 = 220 \text{ V}$ . Tính số vòng dây sơ cấp  $w_1$ , cho biết số vòng dây thứ cấp  $w_2 = 60$ .
- c) Tính từ thông cực đại trong lõi thép của máy biến áp, cho biết tiết diện mạch từ  $S = 10 \text{ cm}^2$ .
- d) Bỏ qua điện trở dây quấn máy biến áp, tính dòng điện trung bình qua tải  $300 \Omega$  và dòng điện cực đại mà mỗi điốt phải chịu.
- e) Tính công suất thứ cấp của máy biến áp.



Hình 12.28.

### Bài giải

- a) Đây là sơ đồ chỉnh lưu hai nửa chu kỳ nên trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu

$$U_o = \frac{2}{\pi} U_{2\max}$$

suy ra 
$$U_{2\max} = \frac{\pi}{2} U_o = 1,57 \cdot 15 = 23,6 \text{ V}$$

- b) Trị số hiệu dụng của điện áp thứ cấp

$$U_2 = \frac{U_{2\max}}{\sqrt{2}} = \frac{23,6}{\sqrt{2}} = 16,6 \text{ V}$$

Số vòng dây sơ cấp của máy biến áp

$$w_1 = w_2 \frac{U_1}{U_2} = 60 \cdot \frac{220}{16,6} = 795 \text{ vòng}$$

c) Từ công thức cơ bản của máy biến áp  $U_1 = 4,44w_1f\Phi_m$  suy ra

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4,44 w_1 f} = \frac{220}{4,44 \cdot 795 \cdot 50} = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$B_m = \frac{\Phi_m}{S} = \frac{1,23 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-4}} = 1,23 \text{ T}.$$

d) Dòng điện trung bình qua tải

$$I_o = \frac{U_o}{R} = \frac{15}{300} = 50 \text{ mA}$$

Dòng điện cực đại qua mỗi điốt

$$I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{23,6}{300} = 78,7 \text{ mA}.$$

e) Công suất thứ cấp máy biến áp

$$P = \frac{U_2^2}{R} = \frac{16,6^2}{300} = 0,918 \text{ W}.$$

### Bài số 12.2.

Tiristo hình 12.29 được điều khiển bằng máy phát xung có tần số điều chỉnh được  $f = 2000 \text{ Hz}$

1) Biết  $R_c = 1 \text{ k}\Omega$ . Tính điện trở  $R_d$  là điện trở mạch phóng của máy phát xung (biết  $C = 22 \text{ nF}$ ).

2)  $e(t)$  là nguồn xoay chiều tần số  $50 \text{ Hz}$  tính thời gian mỗi tiristo và dạng sóng điện áp trên tải  $U_R(t)$ .

### Bài giải

1) Chu kỳ máy phát xung chữ nhật :

$$\tau = \frac{1}{f} = \frac{1}{2000} = 0,5 \text{ ms}$$

Biết  $\tau = (R_c + R_d)C \cdot \ln 2$  suy ra

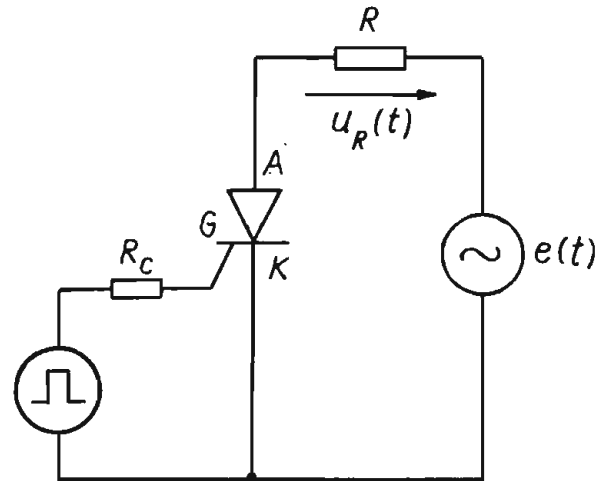
$$R_c + R_d = \frac{\tau}{C \cdot \ln 2} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{22 \cdot 10^{-9} \cdot \ln 2} = 32,8 \text{ k}\Omega$$

ta được

$$R_d = 32,8 - R_c = 32,8 - 1 = 31,8 \text{ k}\Omega.$$

2) Tiristo được điều khiển với thời gian trễ

$$\tau_d = \tau \cdot \frac{R_d}{R_d + R_c} = 0,5 \cdot \frac{31,8}{31,8 + 1} = 0,485 \text{ ms, trong nửa chu kỳ của điện áp hình}$$



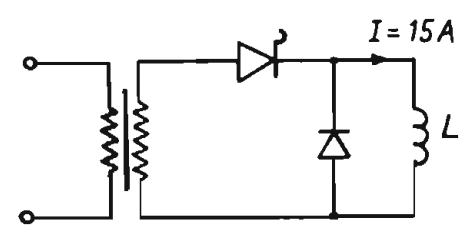
Hình 12.29.

sin có nửa chu kỳ bằng :  $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{50} = 10 \text{ ms}$ , điện áp trên tải  $U_R(t)$  có dạng nửa chu kỳ hình sin.

**Bài số 12.3.**

Bộ chỉnh lưu một pha một nửa chu kỳ (hình 12.30) cung cấp cho tải điện cảm với dòng điện 15 A, nguồn xoay chiều  $U = 240 \text{ V}$ .

Tính điện áp trung bình trên tải khi góc mở  $\alpha = 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  và  $180^\circ$ . Tính các thông số của tiristo và diốt.



Hình 12.30.

*Bài giải*  
Điện áp trung bình trên tải

$$U_{tb} = \frac{U_{max}}{2\pi} (1 + \cos\alpha)$$

từ đó suy ra

$\alpha$	$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$
$U_{tb}(V)$	108	92	54	16	0

Các thông số tính chọn tiristo. Điện áp ngược cực đại =  $U_{max} = 240\sqrt{2} = 340 \text{ V}$   
 Khi  $\alpha = 0$  khoảng dẫn của tiristo cực đại. Trị số hiệu dụng của dòng điện qua tiristo

$$I = \sqrt{\frac{15^2 + 0^2}{2}} = 10,6 \text{ A} .$$

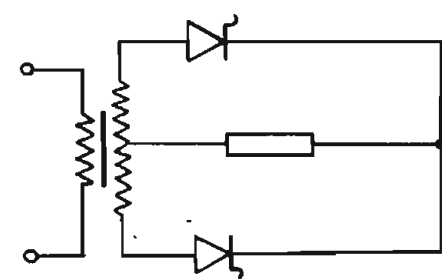
Điện áp ngược cực đại của diốt chuyển mạch  
 $U_{ng} = U_{max} = 340 \text{ V}$

Khi  $\alpha = 180^\circ$  diốt chuyển mạch dẫn điện gần như liên tục với dòng điện 15 A .

**Bài số 12.4.**

Sơ đồ chỉnh lưu hai nửa chu kỳ dùng máy biến áp có điểm giữa cho trên hình 12.31. Điện áp thứ cấp của máy biến áp là 120 V.

1) Tính điện áp trung bình trên tải khi góc mở  $\alpha$  lần lượt là  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$  và  $90^\circ$ , giả thiết dòng điện tải bằng phẳng và điện áp rơi trên tiristo là 1,5 V.



Hình 12.31 .

2. Xác định các thông số của tiristo biết dòng điện tải  $I = 15 \text{ A}$ .

*Bài giải*

1. Chỉnh lưu hai nửa chu kỳ, máy biến áp điểm giữa có

$$U_{tb} = \frac{2U_{max}}{\pi} \cos\alpha$$

Nếu kể tới điện áp rơi trên tiristo thì

$$U_{th} = \frac{2U_{max}}{\pi} \cos\alpha - 1,5 = \frac{2}{\pi} \cdot 120\sqrt{2}\cos\alpha - 1,5$$

Từ đó suy ra

Góc mở $\alpha$	0°	30°	60°	90°
Điện áp trung bình (V)	106,5	92,1	52,5	0

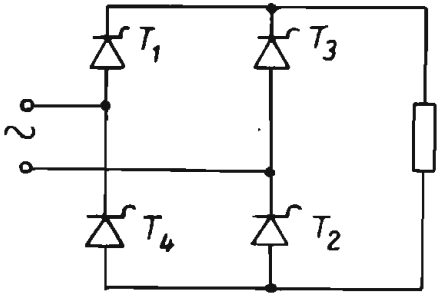
2. Điện áp ngược trên mỗi tiristo

$$U_{ng} = 2U_{max} = 2 \times 120\sqrt{2} = 340 \text{ V.}$$

Dòng điện hiệu dụng qua tiristo  $I = \frac{I_{t\grave{a}i}}{\sqrt{2}} = \frac{15}{\sqrt{2}} = 10,6 \text{ A.}$

**Bài số 12.5.**

Sơ đồ chỉnh lưu cầu một pha có điều khiển trên hình 12.32. Biết điện áp nguồn  $U = 120 \text{ V}$ , điện áp rơi trên tiristo là  $1,5 \text{ V}$ . Tính điện áp trên tải khi góc mở lần lượt bằng  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  và điện áp ngược cực đại trên tiristo.



Hình 12.32.

**Bài giải**

Đây là sơ đồ chỉnh lưu hai nửa chu kỳ, trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu tương tự như trường hợp chỉnh lưu hai nửa chu kỳ có máy biến áp điểm giữa

$$U_{th} = \frac{2}{\pi} U_{max}\cos\alpha$$

Nếu kể đến điện áp rơi của hai tiristo cùng dẫn điện thì

$U_{th} = \frac{2}{\pi} U \sqrt{2}\cos\alpha - (2 \times 1,5)$ , từ đó suy ra :

Góc mở $\alpha^\circ$	0°	45°	90°
$U_{th} \text{ (V)}$	105	73,4	0

Vì có hai tiristo cùng dẫn nên điện áp ngược cực đại trên từng tiristo là :

$$U_{ng} = U_{max} = \sqrt{2}.120 = 169,7 \text{ V.}$$

**Bài số 12.6.**

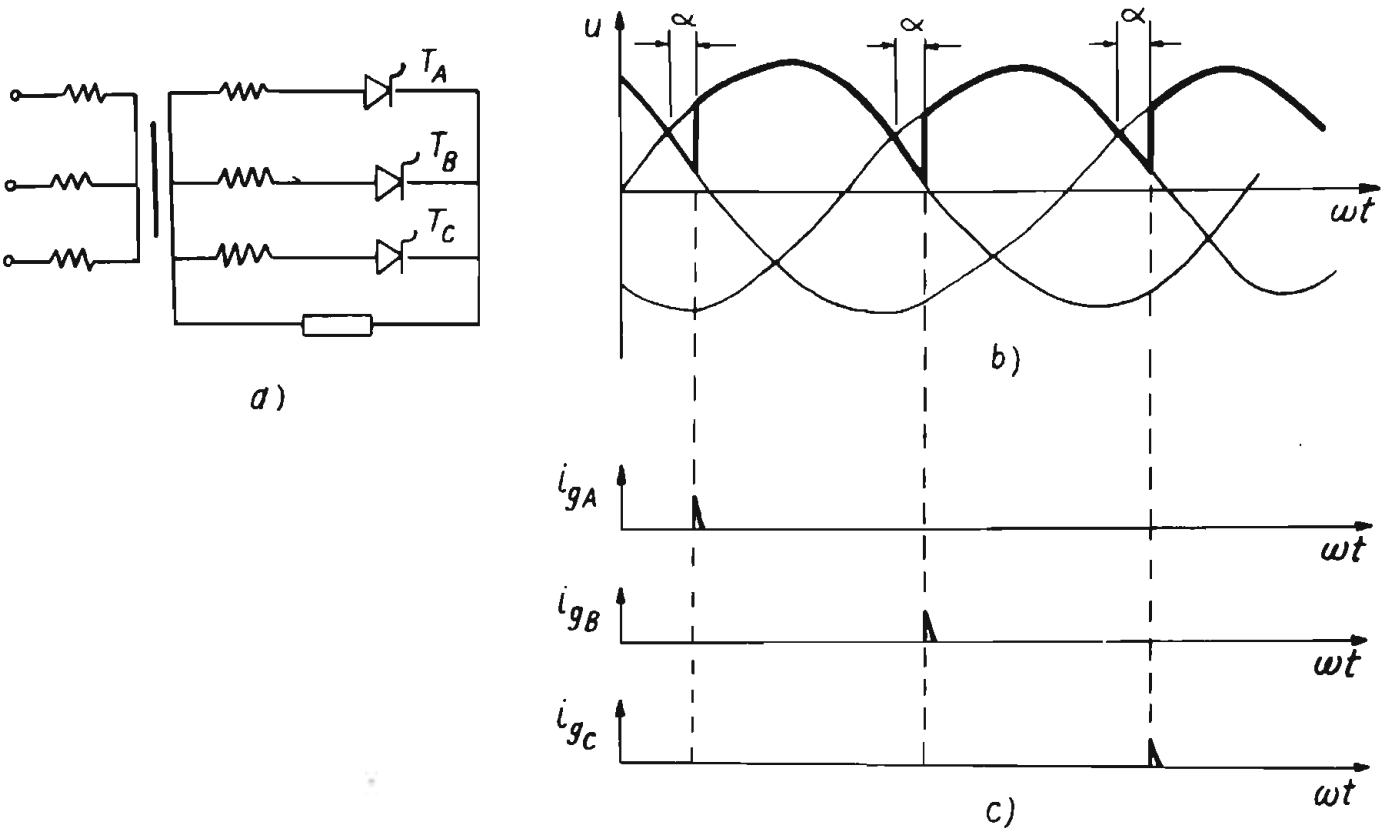
Sơ đồ chỉnh lưu ba pha hình tia cho trên hình 12.33a. Biết điện áp pha của nguồn  $U_f = 150 \text{ V}$ .

1) Tìm dạng sóng điện áp trên tải

2) Xác định điện áp trung bình trên tải khi góc mở  $\alpha$  lần lượt bằng  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$  và  $90^\circ$ . Biết điện áp rơi trên từng tiristo là  $1,5 \text{ V}$  và dòng điện tải là không đổi.

**Bài giải**

1) Dạng sóng điện áp tải được biểu diễn trên hình 12.33b. Góc mở  $\alpha$  tính từ thời điểm giao nhau của các điện áp pha. Các tiristo dẫn điện lần lượt từ  $T_A$  đến  $T_B$  và  $T_C$ . Các xung điều khiển được vẽ trên hình 12.33c.



Hình 12.33.

2. Trị số trung bình của điện áp chỉnh lưu trừ đi điện áp rơi trên một tiristo là

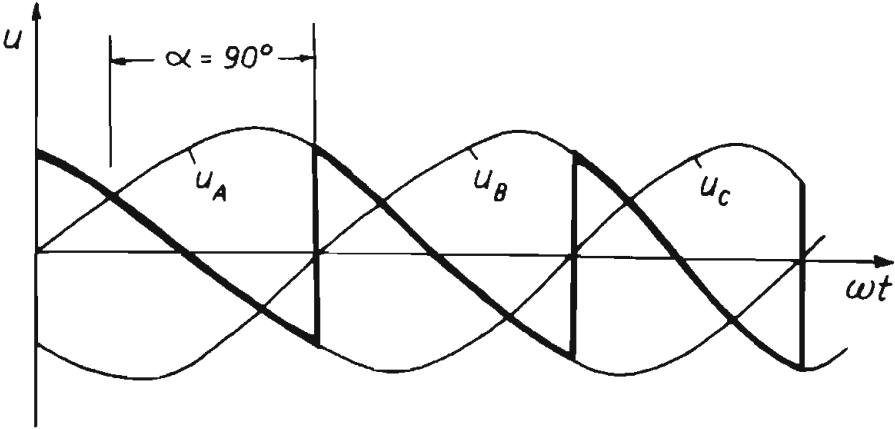
$$U_{tb} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_{\max} \cos\alpha - 1,5$$

từ đó suy ra

Góc mở $\alpha^\circ$	$0^\circ$	$30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
$U_{tb}$ (V)	173,9	150,4	86,2	0

**Bài số 12.7.**

- 1) Trong sơ đồ hình 12.33a vẽ dạng sóng điện áp trên tải khi góc mở  $\alpha = 90^\circ$ .
- 2) Nếu tiếp tục tăng góc mở  $\alpha$ , vẽ dạng sóng của điện áp trên tải và nhận xét chế độ làm việc của bộ biến đổi này.
- 3) Xác định giới hạn của góc mở  $\alpha$ .

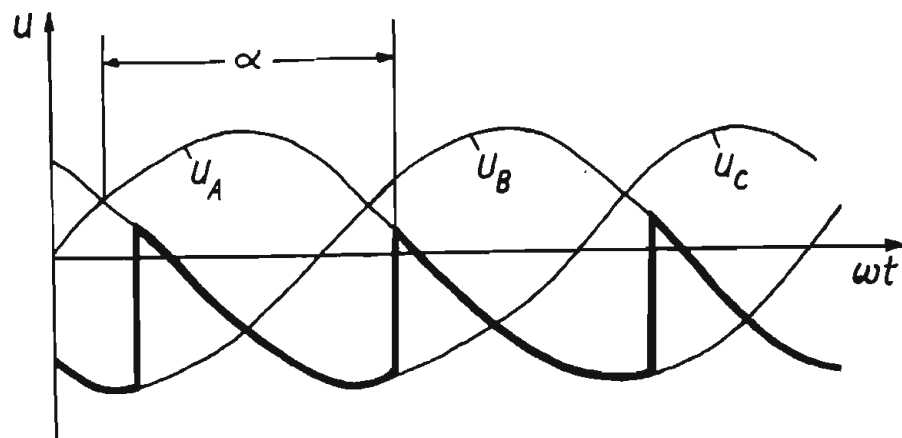


Hình 12.34a.

### Bài giải

1) Khi góc mở  $\alpha = 90^\circ$  phần điện áp dương bằng phần điện áp âm còn điện áp trung bình trên tải bằng không (hình 12.34a).

2) Nếu tiếp tục tăng  $\alpha$  thì phần điện áp âm sẽ lớn hơn phần điện áp dương và điện áp trung bình trên tải có giá trị âm. Điều đó có nghĩa là dòng và áp trên tải ngược chiều, bộ biến đổi làm việc ở chế độ nghịch lưu (hình 12.34b).



Hình 12.34b.

Năng lượng từ tải sẽ trả về nguồn.

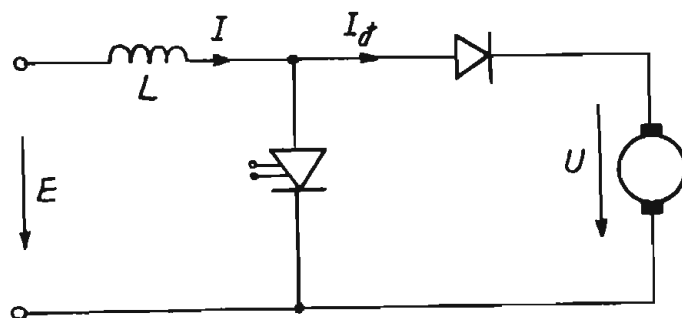
3) Nếu  $\alpha \geq 180^\circ$  thì điện áp pha B sẽ trở nên âm hơn so với pha A do đó tiristo  $T_A$  không thể bị khóa và  $T_B$  không thể mở được. Do vậy góc mở  $\alpha = 180^\circ$  là giới hạn làm việc của bộ biến đổi ở chế độ nghịch lưu.

### Bài số 12.8.

Động cơ một chiều  $U = 220$  V được cung cấp từ nguồn một chiều  $E = 120$  V qua bộ băm mắc song song hình 12.35. Biết chu kỳ  $\tau = 10^{-4}$  s,  $I_d = 15$  A.

1) Tính tỷ số thời gian chu kỳ  $\alpha$

2) Tính dòng điện trung bình lấy từ nguồn I



Hình 12.35.

### Bài giải

1) Đối với bộ băm điện áp một chiều nối song song với tải ta có

$$U = \frac{E}{1 - \alpha} \text{ suy ra}$$

$$1 - \alpha = \frac{E}{U} = \frac{120}{220}$$

từ đó tìm được tỷ số thời gian  $\alpha = 0,454$ .

Dòng điện trung bình lấy từ nguồn được xác định từ phương trình

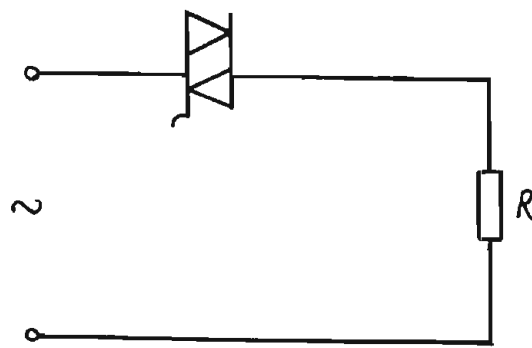
$$E \cdot I = U \cdot I_d$$

suy ra

$$I = \frac{U}{E} \cdot I_d = \frac{220 \cdot 15}{120} = 27,5 \text{ A.}$$

### Bài số 12.9.

Để điều chỉnh công suất của tải đốt nóng ta dùng 1 triac (hình 12.36).



Hình 12.36.

Xác định góc mở của triac khi công suất tải bằng :

- a) 80% công suất cực đại
- b) 50% công suất cực đại
- c) 30% công suất cực đại

*Bài giải*

Bằng cách điều chỉnh góc mở  $\alpha$  ta điều chỉnh được điện áp xoay chiều trên tải tức là điều chỉnh được công suất tải tiêu thụ.

Công suất tải tiêu thụ

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2}{\pi R} (\pi - \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha)$$

- a) Khi  $\alpha = 0^\circ$  công suất tải sẽ là cực đại bằng  $\frac{U^2}{R}$

Từ biểu thức công suất suy ra

$$(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha) = \frac{80}{100}, \text{ từ đó suy ra } \alpha = 1,057 \text{ rad} = 60^\circ 5'$$

- b) Khi công suất bằng một nửa công suất cực đại suy ra  $\alpha = 90^\circ$

$$\text{c) } \pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha = \frac{30}{100} \text{ suy ra } \alpha = 1,896 \text{ rad} = 108^\circ 6'.$$

## BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ CHƯƠNG 12

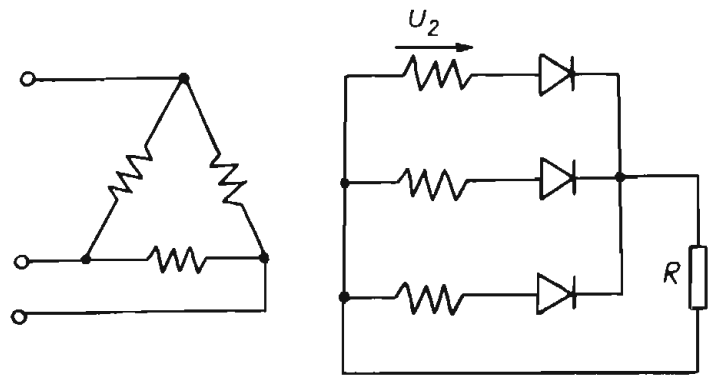
### Bài số 12-10

Cho bộ chỉnh lưu ba pha hình tia (hình 12.37). Điện áp  $U_2 = 220V$  điện trở tải  $R = 10\Omega$

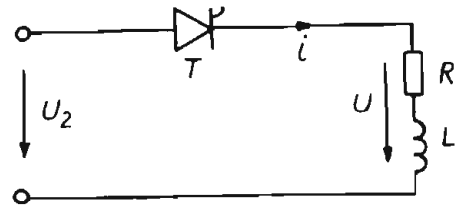
Tính:

- Điện áp trung bình trên tải
- Dòng điện trung bình qua diốt
- Điện áp hiệu dụng trên tải
- Dòng điện hiệu dụng qua diốt
- Dòng điện cực đại qua diốt
- Điện áp ngược cực đại qua diốt

Đáp số: a) 257V, b) 8,57V, c) 261V, d) 15,1A, e) 31,1A, g) 539V.



Hình 12.37



Hình 12.38

### Bài số 12.11

Bộ chỉnh lưu một nửa chu kỳ bằng tiristo có tải R - L (hình 12.38).

Biết  $U_2 = 220V$ ,  $R = 2\Omega$ ,  $X_L = 8\Omega$ ,  $f = 50Hz$ , góc mở  $\theta_0 = 30^\circ$

- Vẽ đồ thị dòng điện qua tải
- Tính góc khóa
- Tính điện áp trung bình trên tải

Đáp số:

$$a) i = \frac{\sqrt{2}U}{z} \sin(\omega t - \varphi) - \sin(\theta_0 - \varphi) \exp(-(\omega t - \theta_0)/\text{tg}\varphi)$$

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}, z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

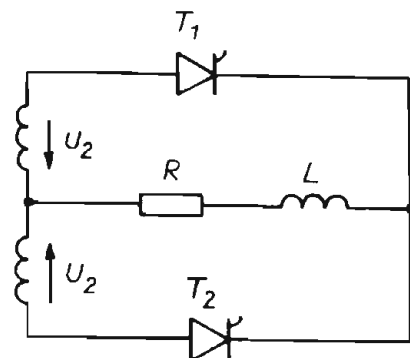
b) Xác định góc khóa theo đồ thị  $\theta_1 = 270^\circ$

c)  $U = 42,9V$

### Bài số 12.12

Bộ chỉnh lưu tiristo hai nửa chu kỳ tải R - L (hình 12.39)

Biết  $U_2 = 220V$ ,  $R = 2\Omega$ ,  $X_L = 8\Omega$ ,  $f = 50Hz$ , góc mở  $\theta_0 = 30^\circ$



Hình 12.39



- a) Xác định quá trình dẫn là liên tục hay gián đoạn.
- b) Nếu quá trình dẫn liên tục xác định giá trị trung bình của điện áp trên tải.
- c) Xác định dòng điện qua tải.

**Đáp số:**

- a) Kiểm tra điều kiện góc khóa có lớn hơn  $180^\circ + \theta_0$  không.  
Ở đây góc khóa  $\theta_1 = 270^\circ > 180^\circ + 30^\circ$  do đó quá trình dẫn là liên tục.
- b) 171V
- c)

$$i = \frac{2\sqrt{2}}{\pi R} \cos\theta_0 + \frac{2\sqrt{2}U_2}{\pi Z} A \sin(2\alpha + \psi - \beta) = 0,55 + 0,067 \sin(2\alpha - 0,69\pi)$$

với  $\operatorname{tg}\beta = \frac{2x_L}{R}$  ;  $A = \frac{2}{3} \sqrt{1 + \frac{3}{4}} = 0,88$ ,  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

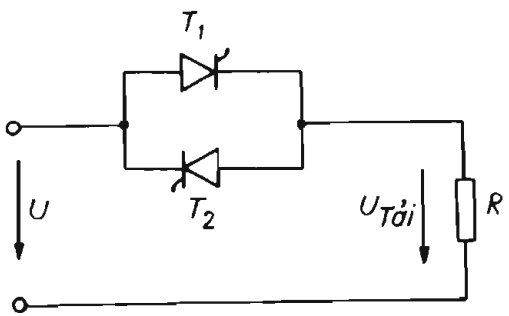
**Bài số 12.13**

Bộ biến đổi điện xoay chiều gồm 2 tiristo nối song song ngược (hình 12.40) cung cấp cho tải thuần trở.

- a) Xác định điện áp trên tải ứng với các giá trị góc mở

$0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$

- b) Tải R - L, vẽ đồ thị dòng điện trên tải biết  $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R} = 60^\circ$



**Hình 12.40**

**Đáp số:**

- a)

góc mở $\theta$	0	30	60	90	120	150	180
$k\% = \frac{U_{\text{tải}}}{U} 100$	100	98,5	89,7	70,7	44,2	17	0

- b) Thành phần xác lập của dòng điện tải  $i_1 = \frac{\sqrt{2}V}{Z} \sin(\omega t - \varphi)$

Thành phần tự do của dòng điện tải.

$$i_2 = \frac{\sqrt{2}U}{Z} \sin(\theta - \varphi) \exp[-R(\omega t - \theta)/\omega L]$$

$$i = i_1 + i_2 = 0,5 \sin(\omega t - 60^\circ) - 0,25 \exp[-(\omega t - 90^\circ)/\sqrt{3}]$$

## Chương 13

# ĐIỀU KHIỂN MÁY ĐIỆN

Điều khiển máy điện là lĩnh vực nghiên cứu ứng dụng các thiết bị, khí cụ và sơ đồ điều khiển nhằm mục đích đảm bảo sự vận hành các loại máy điện theo yêu cầu thực tế.

Trước đây việc điều khiển máy điện chủ yếu dựa vào các thiết bị không tiếp điểm. Ngày nay do sự phát triển của kỹ thuật điện tử công suất và kỹ thuật vi xử lý người ta đã chế tạo được những thiết bị điều khiển với tính năng kỹ thuật cao đáp ứng yêu cầu công nghệ đa dạng của thực tiễn.

Chương này chủ yếu nghiên cứu các ứng dụng của điện tử công suất trong lĩnh vực điều khiển động cơ điện một chiều và xoay chiều.

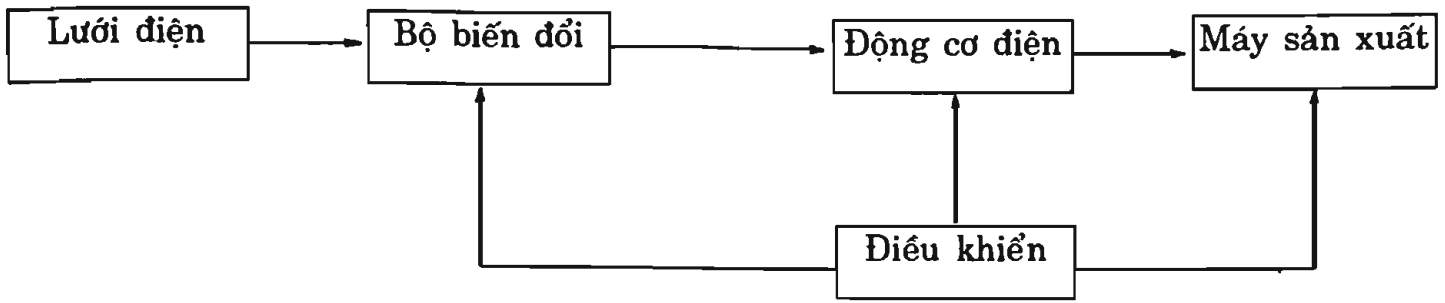
## § 13.1. KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Truyền động điện là hệ thống thiết bị điện cơ dùng để truyền dẫn và điều khiển quá trình chuyển động của các máy sản xuất.

Các phần tử cơ bản của hệ thống truyền động điện gồm có :

1. Động cơ điện là thiết bị biến đổi điện năng thành cơ năng quay các máy sản xuất.
2. Máy sản xuất là thiết bị cơ khí thực hiện các chức năng theo công nghệ sản xuất đòi hỏi.
3. Bộ biến đổi dùng để biến đổi nguồn điện lưới thành nguồn điện phù hợp với động cơ về điện áp, tần số...
4. Hệ thống đo lường, điều khiển và bảo vệ thực hiện các chức năng cơ bản sau đây :
  - Mở máy và hãm máy thực hiện các chức năng hạn chế dòng điện và mômen động cơ trong giới hạn cho phép.
  - Duy trì tốc độ động cơ theo yêu cầu của công nghệ đòi hỏi.
  - Bảo vệ động cơ khỏi quá tải và ngắn mạch.

Hình 13.1 vẽ sơ đồ khối của hệ thống truyền động điện. Nói chung, sơ đồ gồm nhiều mạch vòng làm chức năng điều chỉnh và khống chế động cơ theo yêu cầu của máy sản xuất.



Hình 13.1.

## § 13.2. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

Đặc tính cơ của động cơ là quan hệ giữa tốc độ quay và mômen của động cơ. Đặc tính cơ tự nhiên nếu động cơ vận hành ở chế độ định mức (điện áp, tần số, từ thông định mức và không nối thêm các điện trở và điện kháng vào động cơ). Trên đặc tính cơ tự nhiên ta có điểm làm việc định mức ứng với mômen định mức, tốc độ định mức. Đặc tính cơ nhân tạo của động cơ là đặc tính khi ta thay đổi các thông số nguồn hoặc nối thêm các điện trở, điện kháng vào động cơ.

Để đánh giá và so sánh các đặc tính cơ ta đưa ra khái niệm độ cứng của động cơ

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} \quad (13.1)$$

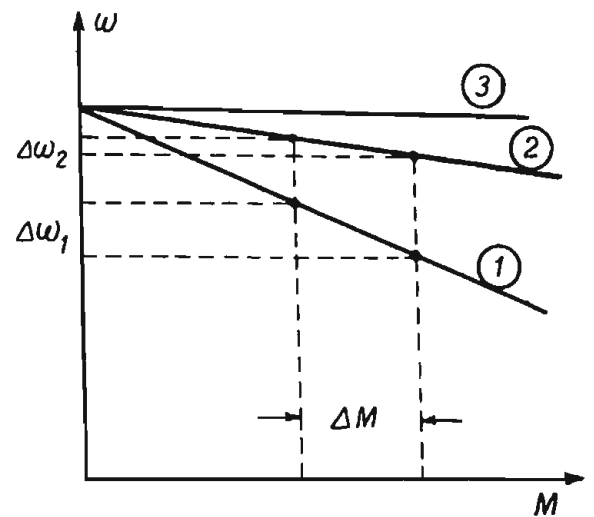
$\beta$  lớn ta có đặc tính cơ cứng nghĩa là khi mômen thay đổi trong phạm vi rộng ( $\Delta M$  lớn) thì biến thiên tốc độ  $\Delta \omega$  rất nhỏ. Trái lại  $\beta$  nhỏ tốc độ động cơ sẽ thay đổi nhiều theo mômen ta nói đặc tính cơ đó là mềm, còn khi  $\beta \rightarrow \infty$ , đặc tính cơ tuyệt đối cứng. Hình 13.2 biểu diễn đặc tính cơ của động cơ, đường 1 đặc tính cơ mềm, đường 2 đặc tính cơ cứng, đường 3 tuyệt đối cơ tuyệt đối cứng.

Trong các chương trước chúng ta đã nghiên cứu đặc tính cơ của các loại động cơ điện. Khi nghiên cứu truyền động điện đặc tính cơ của động cơ được xét trên cả bốn góc phần tư của hệ tọa độ tốc độ - mômen  $\omega(M)$ . Hình 13.3 vẽ đặc tính cơ của các loại động cơ thường gặp.  $\omega_0$  gọi là tốc độ không tải lý tưởng của động cơ.

Trên góc phần tư thứ nhất và thứ ba mômen và tốc độ cùng chiều máy điện làm việc ở chế độ động cơ.

Trên góc phần tư thứ hai và thứ tư mômen ngược chiều với tốc độ, máy điện làm việc ở chế độ hãm. Ở góc phần tư thứ hai  $\omega > 0$ ,  $M < 0$  là chế độ hãm máy phát còn ở góc phần tư thứ tư  $\omega < 0$ ,  $M > 0$  là chế độ hãm ngược.

Trên hình 13.3, đường 1 là đặc tính cơ của động cơ đồng bộ, đặc tính cơ tuyệt đối cứng.



Hình 13.2.

Đường 2 là đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ. Trong phạm vi làm việc ổn định tốc độ của động cơ không đồng bộ ít thay đổi theo mômen, đường đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ là cứng.

Đường 3 là đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ song song, nó là đường thẳng có dạng  $\omega = a - bM$ , đường đặc tính cơ là cứng.

Đường 4 là đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp nó có dạng hypecbôn. Đường đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp là mềm. Khi không tải tốc độ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp tăng rất lớn.

### § 13.3. MÔMEN TÁC ĐỘNG TRONG TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Khi hệ thống truyền động điện làm việc, có các loại mômen sau đây tác động lên hệ thống :

- Mômen động cơ  $M_d$  là mômen quay do động cơ tạo nên làm chuyển động hệ thống truyền động.
- Mômen cản  $M_c$  là mômen cản của tải, quy luật biến thiên của nó phụ thuộc vào tính chất phụ tải của máy sản xuất

Giả thiết mômen quán tính của hệ thống truyền động là  $J$  và tốc quay của hệ thống là  $\omega$  thì phương trình cơ bản của hệ thống truyền động điện là :

$$M_d - M_c = \frac{d}{dt} (J.\omega) \tag{13.2}$$

Nếu mômen quán tính không đổi thì

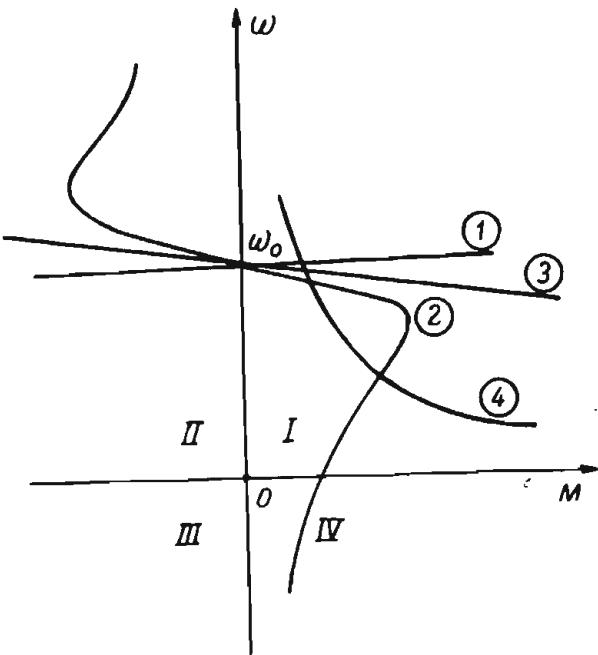
$$M_d - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \tag{13.3}$$

khi  $M_d > M_c$  thì  $\frac{d\omega}{dt} > 0$  động cơ tăng tốc

khi  $M_d < M_c$  thì  $\frac{d\omega}{dt} < 0$  động cơ giảm tốc

khi  $M_d = M_c$  thì  $\frac{d\omega}{dt} = 0$  động cơ làm việc ở chế độ xác lập và có tốc độ quay không đổi.

Nhờ phương trình cơ bản của truyền động điện (13.3) ta có thể tính gần đúng thời gian mở máy hoặc hãm máy đến tốc độ  $\omega$  khi biết mômen mở máy hay mômen hãm trung bình và mômen cản tĩnh không phụ thuộc vào tốc độ.



Hình 13.3.

Thời gian mở máy được tính theo công thức :

$$t_{mở} = \frac{J\omega}{M_{th} - M_c} \quad (13.4)$$

ở đây  $M_{th}$  là mômen mở máy trung bình của động cơ.

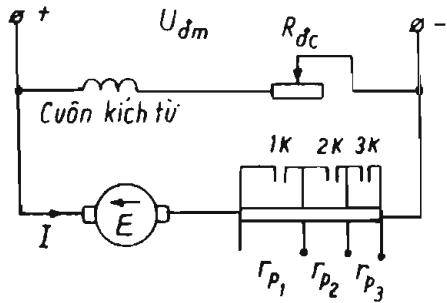
Khi hãm máy đến dừng ta xác định được thời gian hãm :

$$t_{hãm} = \frac{J\omega}{M_{hãm} + M_c} \quad (13.5)$$

### § 13.4. ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

#### 13.4.1. Mở máy

Trong chương động cơ điện một chiều ta đã thấy khi mở máy dòng điện mở máy  $I_{mở} = \frac{U}{R_u}$  rất lớn. Để giảm dòng điện mở máy ta có thể giảm điện áp nguồn hoặc nối tiếp vào phần ứng điện trở phụ. Phương pháp giảm điện áp nguồn được dùng trong hệ thống có bộ biến đổi điện áp. Phương pháp dùng điện trở phụ thường sử dụng khi điện áp nguồn cố định. Hình 13.4 trình bày sơ đồ mở máy động cơ điện một chiều có 3 cấp điện trở phụ. Trị số điện trở phụ tổng mắc trong mạch phần ứng được chọn sao cho  $I_{mở} \leq (2 \div 2,5) I_{dm}$  để đảm bảo an toàn cho động cơ và các cơ cấu truyền động. Ngoài ra  $I_{mở}$  cũng không nên quá nhỏ khiến cho mômen mở máy nhỏ so với mômen cản. Để tăng dần tốc độ cần lần lượt cắt dần điện trở phụ bằng các tiếp điểm 1K, 2K, 3K của công tắc tơ.



Hình 13.4.

#### 13.4.2. Hãm động cơ một chiều

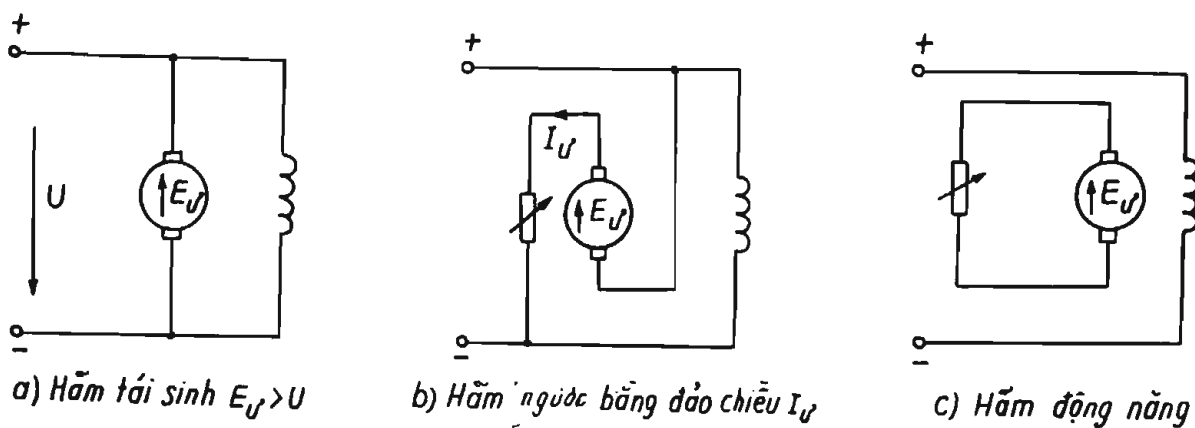
Hãm là trạng thái mà động cơ sinh ra mômen quay ngược chiều với chiều quay. Trong các trạng thái hãm động cơ đều làm việc ở chế độ máy phát. Có ba trạng thái hãm :

- a) *Hãm tái sinh* (năng lượng trả về lưới).

Hãm tái sinh xảy ra khi tốc độ quay của động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng. Khi đó  $E_u > U$ , động cơ làm việc như một máy phát nối song song với lưới. Hình 13.5a là sơ đồ động cơ ở chế độ hãm tái sinh, khi đó dòng điện hãm đổi chiều và công suất đưa về lưới có giá trị  $P = (E_u - U)I$ , đây là phương pháp hãm kinh tế nhất vì động cơ sinh ra điện năng hữu ích.

- b) *Hãm ngược* : Trạng thái hãm ngược xảy ra khi mômen điện từ của động

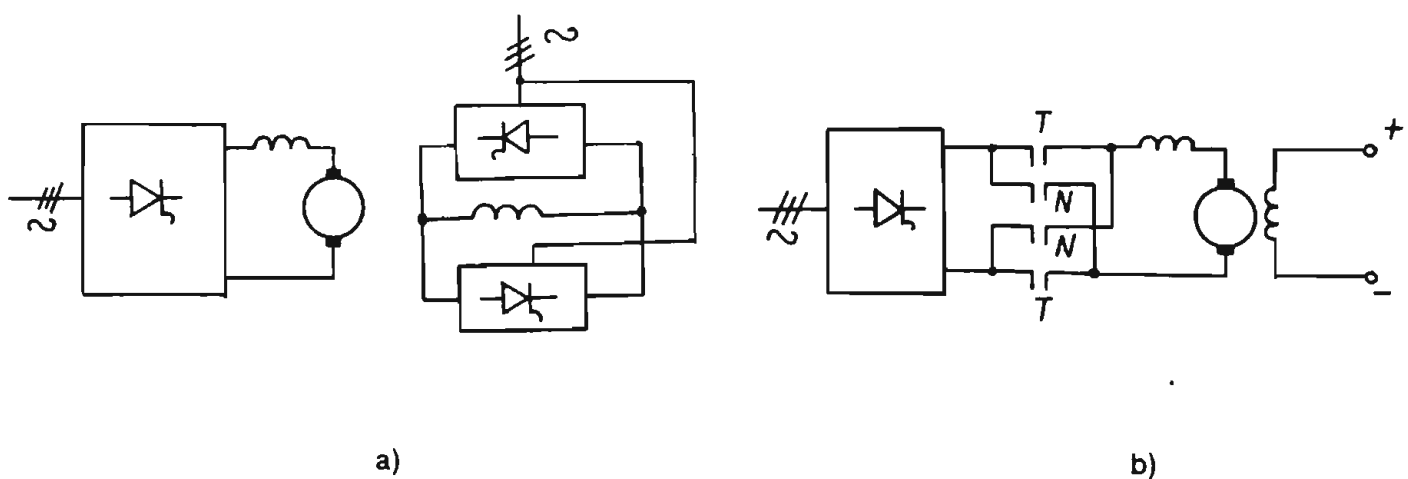
cơ ngược chiều chuyển động của cơ cấu. Thông thường khi đổi chiều điện áp phản ứng và đưa thêm điện trở phụ mạch vào phần ứng như hình 13.5 b mômen điện từ đổi chiều chống lại chiều quay của động cơ nên tốc độ của động cơ giảm dần.



Hình 13.5.

- c) Hãm động năng là trạng thái động cơ sau khi cắt khỏi lưới điện làm việc như một máy phát. Năng lượng cơ học tích lũy của động cơ biến thành nhiệt năng tiêu tán trên điện trở mạch hãm (hình 13.5 c).

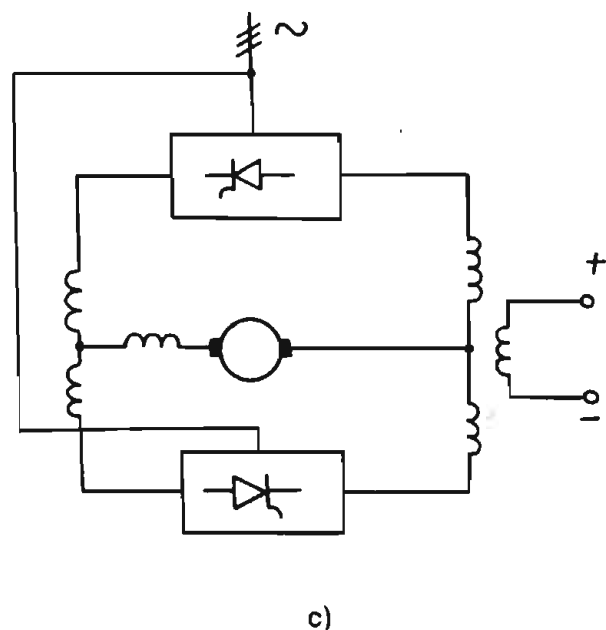
### 13.4.3. Đảo chiều quay



Vì mômen quay của động cơ điện một chiều  $M = k_m \Phi I_u$ . Để đảo chiều quay của động cơ điện một chiều ta có thể thực hiện một trong hai phương pháp :

- Giữ nguyên dòng điện phản ứng  $I_u$ , đảo chiều dòng điện kích từ  $I_{kt}$ .
- Giữ nguyên chiều dòng điện kích từ  $I_{kt}$ , đảo chiều dòng điện phản ứng.

Hình 13,6 a là sơ đồ bằng cách đảo chiều dòng điện kích từ đảo chiều quay. Điện áp đặt vào phần ứng của động cơ qua bộ chỉnh lưu có điều khiển. Khi mỗi tistiso trong mạch kích từ thích hợp có thể đổi chiều dòng kích từ. Sơ đồ thường



Hình 13.6.

dùng cho động cơ công suất lớn và ít đảo chiều. Hình 13.6 b là sơ đồ đảo chiều dòng điện phản ứng để đảo chiều quay bằng cách đóng tiếp điểm thuận (T) hoặc tiếp điểm ngược (N). Sơ đồ dùng cho động cơ công suất nhỏ và tần số đảo chiều thấp vì sự có mặt của công tắc tơ thuận và ngược.

Hình 13.6 c là sơ đồ đảo chiều dòng điện phản ứng để đảo chiều quay bằng cách dùng hai bộ biến đổi ở mạch phản ứng. Sơ đồ dùng cho động cơ công suất vừa và công suất lớn, có tần số đảo chiều cao.

**13.4.4. Điều chỉnh tốc độ**

Về phương diện điều chỉnh tốc độ, động cơ điện một chiều có nhiều ưu điểm so với các loại động cơ khác. Việc điều chỉnh dễ dàng, chất lượng điều chỉnh cao trong dải rộng.

Thực tế có hai phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều :

- Điều chỉnh điện áp cấp cho phản ứng động cơ.
- Điều chỉnh điện áp cấp cho mạch kích từ động cơ.

Cần có bộ biến đổi để cung cấp cho mạch phản ứng hoặc mạch kích từ của động cơ. Ngày nay thường sử dụng hai loại bộ biến đổi cho động cơ điện một chiều là bộ chỉnh lưu có điều khiển và bộ biến đổi xung áp một chiều (bộ băm điện áp một chiều).

Sau đây chúng ta xét đặc điểm của hai hệ thống này.

*1. Hệ thống chỉnh lưu tiristo - động cơ (T - Đ)*

Trên sơ đồ hình 13.7 a chỉnh lưu có điều khiển dùng tiristo để điều chỉnh điện áp phản ứng của động cơ. Chỉnh lưu cũng có thể dùng làm nguồn điều chỉnh điện áp kích từ cho động cơ. Tùy theo yêu cầu có thể dùng các sơ đồ chỉnh lưu một pha, nhiều pha sơ đồ hình tia, sơ đồ cầu v.v... Sơ đồ này thường dùng cho các động cơ được cấp điện từ lưới xoay chiều.

*2. Hệ thống truyền động điều chỉnh xung áp - động cơ (XA - Đ)*

Điện áp một chiều được điều chỉnh bằng bộ băm cung cấp cho phản ứng của động cơ. Hình 13.7 b là sơ đồ của hệ thống này. Điện áp một chiều được băm với điện áp trung bình

$$U_{tb} = U \frac{t_d}{T} \quad ,$$

trong đó  $t_d$  là thời gian đóng,  $t_m$  là thời gian mở của bộ băm

$$T \text{ là chu kỳ, } T = t_d + t_m \quad .$$

diốt Đ là diốt chuyển mạch, nó khép mạch dòng điện khi bộ biến đổi bị khóa. Sơ đồ thường dùng cho động cơ điện cấp điện từ nguồn một chiều (ắc quy v.v. ..)

*3. Hệ tự động điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều*

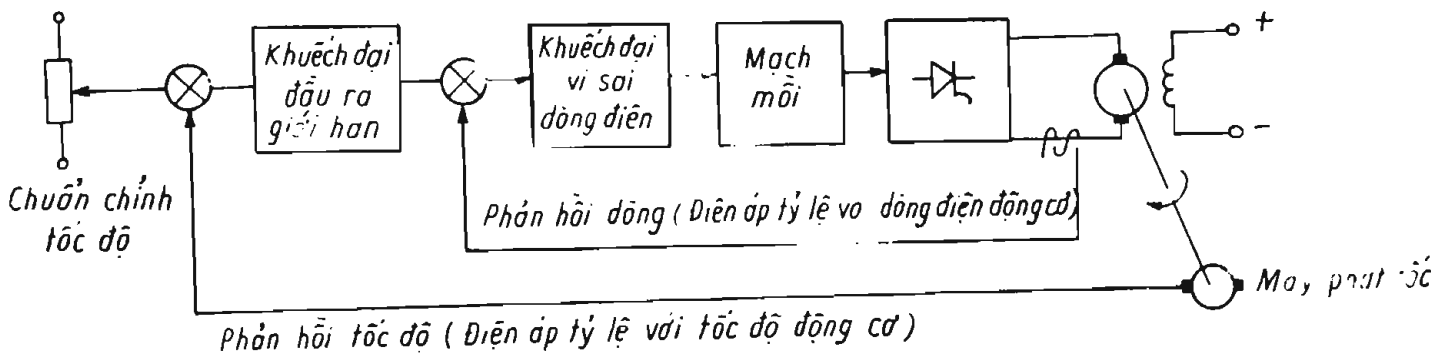
Để tăng cao chất lượng điều chỉnh tốc độ, thường dùng các vòng phản hồi tốc độ. Trên sơ đồ hình 13.8 tốc độ của động cơ được đo bằng máy phát tốc, là máy phát điện một chiều công suất nhỏ có điện áp tỷ lệ với tốc độ quay. Điện áp của máy phát tốc được so sánh và khuếch đại để điều khiển mạch mỗi của bộ chỉnh

lưu có điều khiển để điều chỉnh điện áp đặt vào phần ứng của động cơ. Ngoài ra sơ đồ còn có một vòng phản hồi dòng điện dùng để hạn chế dòng điện mở máy và quá tải. Tín hiệu dòng điện được lấy ra qua bộ chuyển đổi dòng điện một chiều



Hình 13.7.

được so sánh và đưa vào bộ khuếch đại vi sai dòng điện để điều chỉnh mạch mỗi của bộ chỉnh lưu có điều khiển. Khi dòng điện quá lớn phản hồi dòng điện làm giảm điện áp điều khiển, làm tăng góc mở của bộ biến đổi, kết quả là điện áp trên cực động cơ giảm đi.



Hình 13.8.

### § 13.5. ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG BỘ

Động cơ không đồng bộ do có kết cấu đơn giản, vận hành dễ dàng nhất là sử dụng trực tiếp nguồn cung cấp từ lưới điện xoay chiều ba pha nên được sử dụng rộng rãi. Vì những hạn chế về phương diện tốc độ nên động cơ điện không đồng bộ có tốc độ điều chỉnh còn chiếm tỷ lệ nhỏ so với hệ điều chỉnh tốc độ với động cơ điện một chiều. Trong thời gian gần đây do sự phát triển của kỹ thuật biến đổi dùng bán dẫn công suất và kỹ thuật điều khiển, động cơ không đồng bộ mới khai thác được các ưu điểm của mình. Trong nhiều trường hợp hệ truyền động cơ không đồng bộ cạnh tranh có hiệu quả với hệ truyền động tiristo – động cơ một chiều

Khác với động cơ một chiều, động cơ không đồng bộ được cấu tạo từ phần cảm và phần ứng không tách biệt do đó từ thông cũng như mômen động cơ sinh ra phụ thuộc vào rất nhiều tham số.



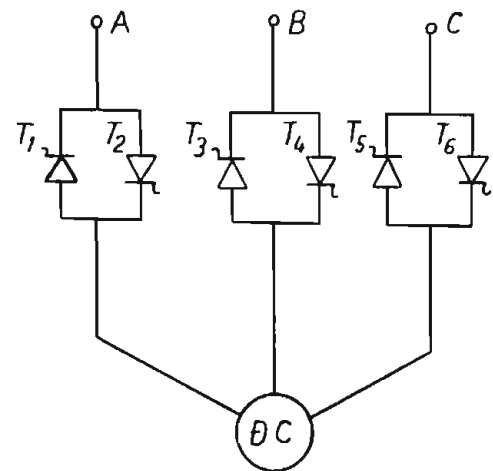
Thường sử dụng bốn hệ thống truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ :

- 1. Điều chỉnh điện áp cấp cho động cơ bằng bộ biến đổi tiristo.
  - 2. Điều chỉnh điện trở rôto bằng bộ biến đổi xung tiristo.
  - 3. Điều chỉnh công suất trượt.
  - 4. Điều chỉnh tần số nguồn cung cấp cho động cơ bằng các bộ biến tần.
- Sau đây ta sẽ xét chi tiết các hệ thống đó.

**13.5.1. Điều chỉnh điện áp động cơ**

Mômen động cơ không đồng bộ tỷ lệ với bình phương của điện áp stato do đó khi điều chỉnh điện áp  $U$  có thể điều chỉnh mômen và tốc độ của động cơ. Hình 13.9 là sơ đồ điều chỉnh điện áp đặt vào stato của động cơ không đồng bộ. Vì lý do mômen tỷ lệ với bình phương của điện áp nên phương pháp điều chỉnh này chỉ thích hợp với truyền động có mômen tải là hàm tăng theo tốc độ động cơ như quạt gió, bơm ly tâm.

Bộ biến đổi điện áp xoay chiều gồm 6 tiristo. Để có dòng điện chạy qua tại mỗi thời điểm phải có ít nhất hai tiristo ở hai pha khác nhau cùng dẫn điện. Do điện áp đặt vào động cơ bị cắt làm nhiều đoạn điện áp không phải hình sin trong đó chỉ có sóng cơ bản gây mômen chính. Các điều hòa bậc cao chỉ gây mômen phụ làm nóng động cơ.

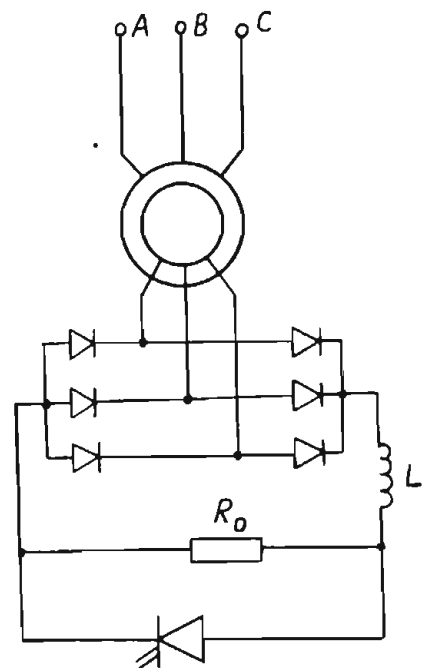


Hình 13.9.

**13.5.2. Điều chỉnh điện trở mạch rôto**

Ta đã biết rằng thêm điện trở phụ vào rôto của động cơ dây quấn làm thay đổi đặc tính cơ dẫn tới điều chỉnh được tốc độ động cơ.

Hình 13.10 trình bày sơ đồ nguyên lý của điều chỉnh trơn điện trở rôto bằng phương pháp xung. Điện áp rôto được chỉnh lưu bằng cầu diốt qua điện kháng lọc  $L$  nối tiếp với điện trở phụ trên rôto  $R_o$ . Khóa bán dẫn  $T_1$  đóng mở một cách chu kỳ để điều chỉnh giá trị trung bình của điện trở phụ rôto  $R_o$ . Hoạt động của khóa tương tự như bộ băm điện áp một chiều trong mục 13.4.4. Với tần số đóng mở nhất định do có điện cảm  $L$  mà dòng điện rôto coi như không đổi và ta có giá trị điện trở tương đương  $R_c$ .



Hình 13.10.

$$R_e = R_o \cdot \frac{t_d}{T}$$

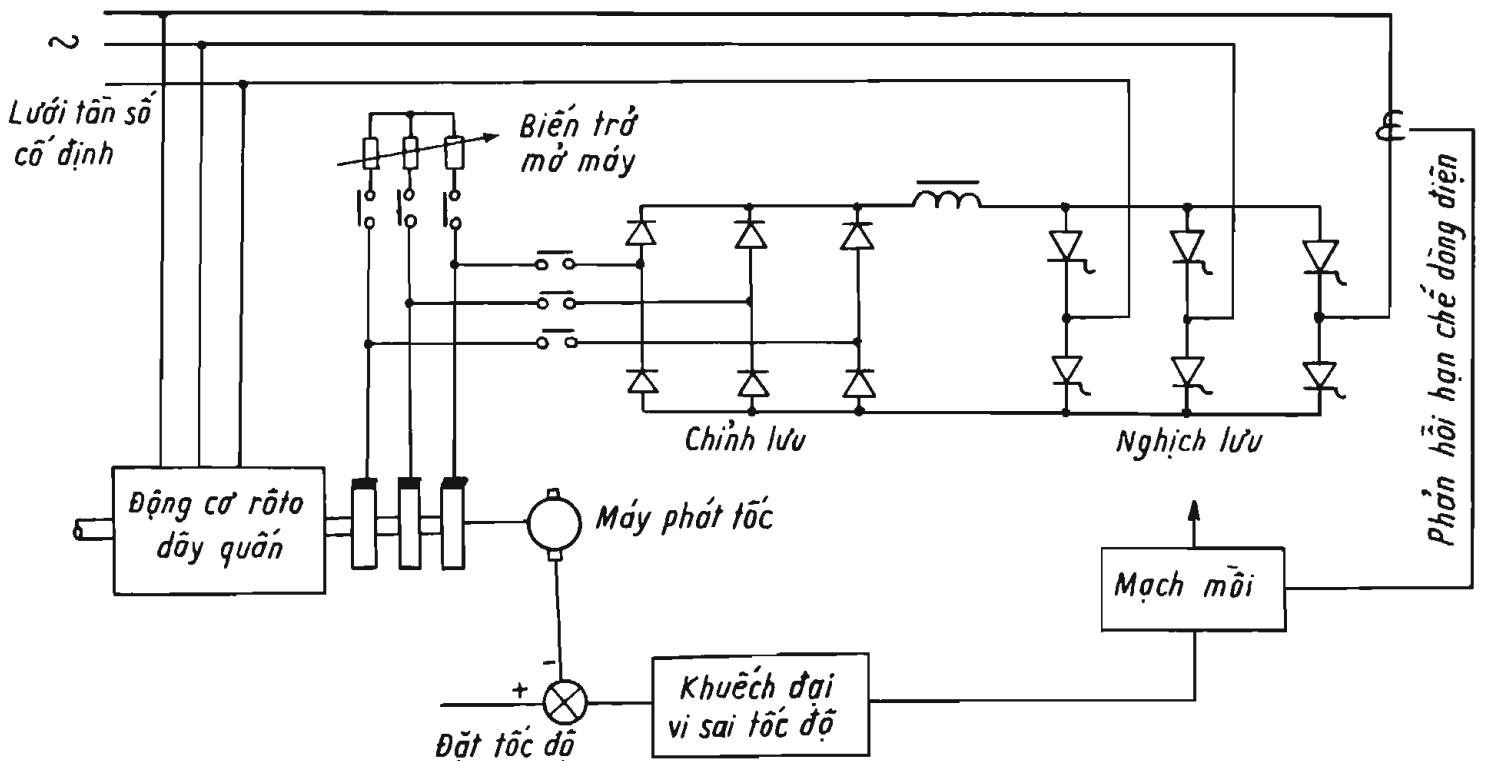
Ở đây  $t_d$  là thời gian đóng

T là chu kỳ đóng mở.

### 13.5.3. Điều chỉnh công suất trượt

Ta biết rằng có thể điều chỉnh tốc độ của động cơ không đồng bộ bằng cách điều chỉnh công suất trượt tiêu tán trên điện trở rôto. Vì tổn hao này đáng kể nên để vừa điều chỉnh được tốc độ, vừa tận dụng được công suất trượt người ta sử dụng sơ đồ điều chỉnh công suất trượt còn gọi là sơ đồ nối tầng. Sơ đồ điều chỉnh công suất trượt được biểu diễn trên hình 13.11. Ở đây sức điện động roto được chỉnh lưu thành điện áp một chiều qua điện kháng lọc cung cấp cho bộ nghịch lưu. Điện áp xoay chiều của bộ nghịch lưu có biên độ và tần số không đổi lấy từ lưới điện. Bộ nghịch lưu đưa công suất truyền qua liên lạc một chiều về lưới. Vì công suất truyền qua bộ chỉnh lưu nghịch lưu  $\Delta P = s P_{dt}$  do đó nếu chỉ cần điều khiển 80% tốc độ đồng bộ thì công suất của bộ biến đổi chỉ bằng 20% công suất điện từ  $P_{dt}$ .

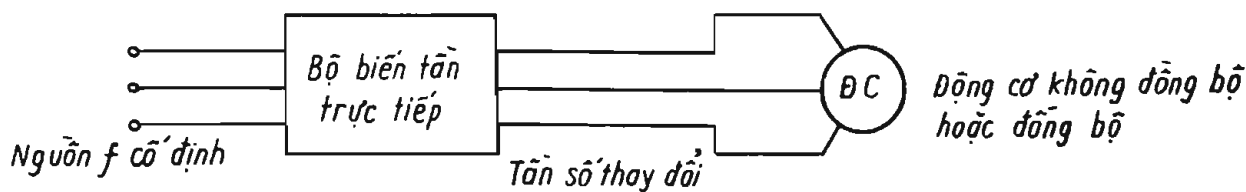
Trên sơ đồ hình 13.11 còn có mạch vòng tự động điều chỉnh tốc độ bằng cách so sánh điện áp trên máy phát tốc độ và điện áp đặt. Ngoài ra mạch phản hồi dòng điện để hạn chế dòng điện.



Hình 13.11.

### 13.5.4. Điều chỉnh tần số nguồn cung cấp cho động cơ

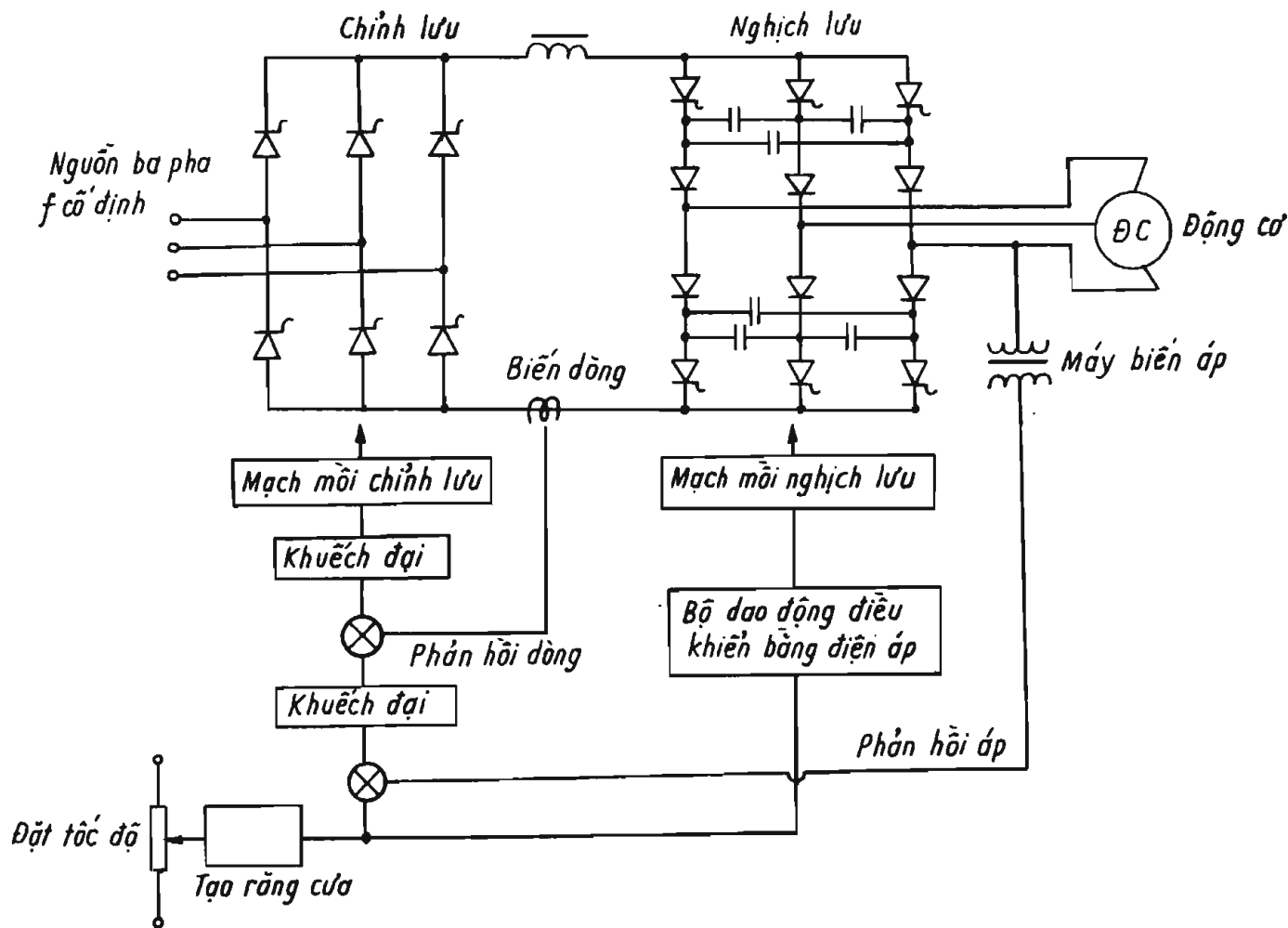
Ta có thể dùng bộ biến tần trực tiếp như sơ đồ hình 13.12, nhưng vì tần số của bộ biến tần trực tiếp bị hạn chế chỉ bằng 1/3 tần số vào nên sơ đồ này chỉ thích ứng với truyền động có tốc độ thấp. Về kỹ thuật bộ tần có ưu điểm nhưng nó vẫn ít được sử dụng vì lý do kinh tế.



Hình 13.12.

Hình 13.13 trình bày sơ đồ điều khiển truyền động cơ không đồng bộ bằng bộ nghịch lưu dòng điện. Điện áp nguồn xoay chiều ba pha tần số cố định được chỉnh lưu thành điện áp một chiều. Bộ nghịch lưu biến đổi điện áp một chiều thành điện áp xoay chiều có tần số điều chỉnh được cung cấp cho động cơ.

Sơ đồ chỉnh lưu cầu ba pha dùng tiristo. Bộ nghịch lưu bán điều khiển dùng cầu tiristo và diốt. Trên sơ đồ có vòng phản hồi hạn chế dòng điện và phản hồi tốc độ, phản hồi điện áp.



Hình 13.13.

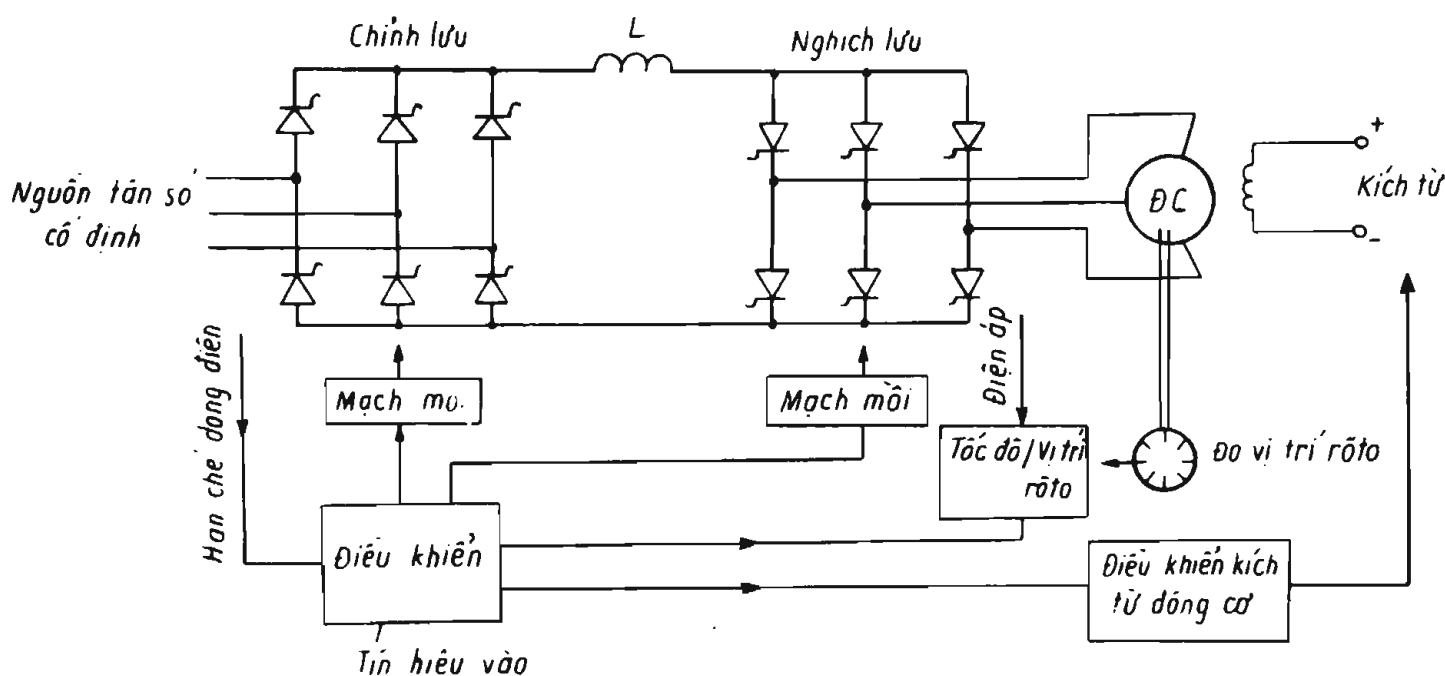
### § 13.6. ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

Hệ truyền động điều chỉnh tốc độ động cơ đồng bộ rất phong phú có cấu trúc và đặc tính điều chỉnh khác nhau tùy theo công suất, tính chất tải và phạm vi điều chỉnh.

Theo công suất ta chia ra :

- Động cơ công suất nhỏ dưới vài kW
- Động cơ công suất trung bình từ vài kW đến 50 kW
- Động cơ công suất vừa từ 50 kW đến 500 kW
- Động cơ công suất lớn trên 500 kW

Ở dải công suất nhỏ động cơ thường có cấu tạo mạch kích từ là nam châm vĩnh cửu thường dùng cho cơ cấu truyền động có vùng điều chỉnh rộng, độ chính xác cao



Hình 13.14.

Ở dải công suất vừa và lớn động cơ thường dùng để kéo máy bơm, máy nén với vùng điều chỉnh 10 : 1. Hình 13.14 là sơ đồ truyền động động cơ đồng bộ dùng bộ biến tần bằng nghịch lưu. Mạch động lực trên sơ đồ hình 13.13 tương tự như các sơ đồ dùng cho động cơ không đồng bộ. Tuy nhiên sơ đồ hình 13.14 có thêm thiết bị đo vị trí rôto để điều khiển mạch mỗi bộ nghịch lưu giữ cho động cơ làm việc đồng bộ. Việc mở các tiristo theo thứ tự do thiết bị đo vị trí của roto xác định

## § 13.7. ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP MÁY PHÁT ĐIỆN ĐỒNG BỘ

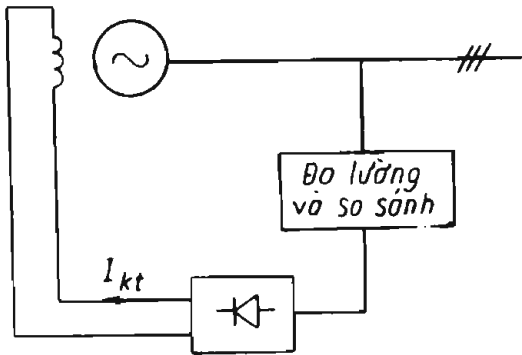
Việc vận hành máy phát điện đòi hỏi phải tự động điều chỉnh điện áp, tần số. Ngoài ra còn cần điều chỉnh công suất tác dụng, công suất phản kháng và các biện pháp hòa đồng bộ các máy phát điện

### 13.7.1. Tự động điều chỉnh điện áp của máy phát điện đồng bộ

Điện áp của máy phát điện đồng bộ được điều chỉnh bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ. Có nhiều sơ đồ điều khiển khác nhau như dùng máy biến áp tổng

hợp, dùng cuộn kháng có điều khiển hoặc chỉnh lưu có điều khiển v. v. Nguyên lý điều chỉnh điện áp được trình bày trên sơ đồ hình 13.15. Khối đo lường và so sánh thực hiện chức năng so sánh điện áp trên cực máy phát và điện áp định chuẩn. Sai lệch điện áp được chỉnh lưu và làm biến thiên dòng điện kích từ của máy phát giữ cho điện áp không đổi.

Việc tự động điều chỉnh tần số được thực hiện bằng cách điều chỉnh tốc độ của động cơ sơ cấp. Các máy phát thường có cơ cấu ly tâm Watt. Khi tốc độ thay đổi lực ly tâm tác động vào cơ cấu thay đổi sẽ dẫn đến đóng hoặc mở thêm lượng hơi hoặc lượng nước vào tuabin giữ cho tốc độ của động cơ sơ cấp không đổi.



Hình 13.15.

### 13.7.2. Điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng

Trong chương máy điện đồng bộ ta đã phân tích việc điều chỉnh công suất tác dụng của máy phát do điều chỉnh công suất của động cơ sơ cấp nghĩa là điều chỉnh lượng nước hoặc hơi vào tuabin. Điều chỉnh công suất phản kháng bằng cách điều chỉnh dòng kích từ của máy phát điện.

### CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 13

1. Các phần tử cơ bản của hệ thống truyền động điện. Vai trò của bộ biến đổi trong truyền động điện.
2. Đặc tính cơ của các loại động cơ điện.
3. Phương trình cơ bản của truyền động điện.
4. Các phương pháp mở máy, hãm, đổi chiều quay động cơ điện một chiều.
5. Các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều.
6. Các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ.

### BÀI TẬP CHƯƠNG 13

#### Bài số 13.1.

Động cơ điện một chiều công suất nhỏ kích từ độc lập được cấp điện qua chỉnh lưu cầu một pha bán điều khiển (hình 13.15 a). Biết điện áp nguồn xoay chiều  $U = 240\text{ V}$ , tiristo được mở với góc mở  $\alpha = 110^\circ$ . Điện áp đặt vào phần ứng động cơ có dạng hình 13.15 b.

Xác định tốc độ quay của động cơ ứng với mômen  $M = 1,8\text{ Nm}$  cho biết hằng số mômen - dòng điện của động cơ là  $1\text{ Nm/A}$ , điện trở phần ứng  $R_u = 6\Omega$ , bỏ qua các tổn hao trên bộ chỉnh lưu.

### Bài giải

Theo hình dáng đường cong điện áp chỉnh lưu ta xác định được điện áp chỉnh lưu trung bình

$$U_{tb} = \frac{1}{\pi} \int_{110}^{180} \sqrt{2} \cdot 240 \sin \omega t d\omega t$$

$$+ E_u \frac{60}{180} = 71,1 + 0,333 E_u.$$

Dòng điện trung bình

$$I_u = \frac{M}{k} = \frac{1,8}{1,0} = 1,8 \text{ A.}$$

Theo phương trình cân bằng điện áp của động cơ ta được

$$E_u = U_{tb} - I_u R_u = 71,1 + 0,33 E_u - 1,8 \cdot 6;$$

$$0,67 E_u = 60,8$$

$$E_u = \frac{60,8}{0,67} = 90,33 \text{ V.}$$

Công suất điện từ  $P_{dt} = E_u I_u = M\omega$ , suy ra

$$\omega = \frac{E_u I_u}{M}$$

Vì tỷ số  $\frac{I_u}{M} = 1$  suy ra  $\omega = E_u = 90,33 \text{ rad/s} = 864 \text{ vòng/phút.}$

### Bài số 13.2.

Động cơ điện một chiều công suất nhỏ kích từ độc lập được cung cấp điện từ chỉnh lưu cầu một pha bán điều khiển có điện áp nguồn xoay chiều  $U = 240 \text{ V}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$  (sơ đồ hình 13.17 a).

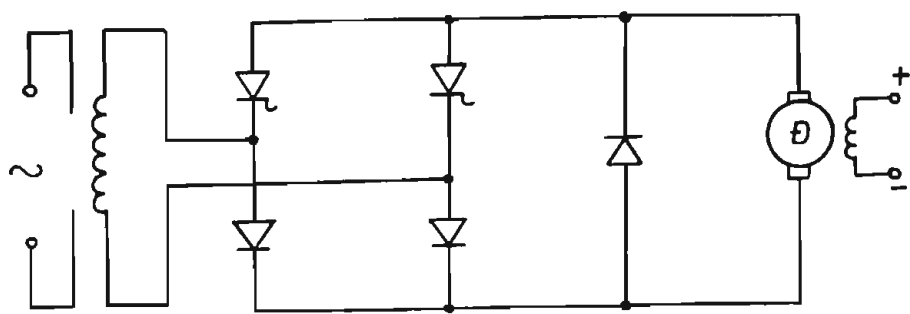
Phản ứng có điện cảm  $0,06 \text{ H}$ , điện trở  $6\Omega$ , góc mở  $\alpha = 80^\circ$  và  $E_u = 150 \text{ V}$ ,

tỷ số  $\frac{E_u}{n} = \frac{M}{I_u} = 0,9$ . Xác định trị số tức thời của dòng phản ứng, mômen trung

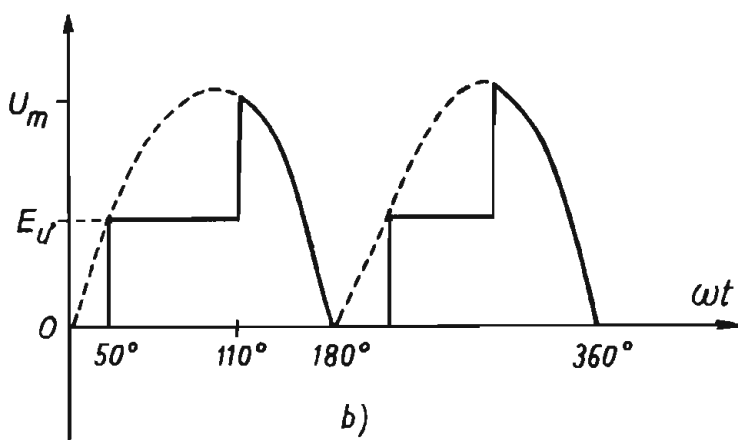
bình và tốc độ quay của động cơ.

### Bài giải.

Dòng điện phản ứng biến thiên theo nhiều giai đoạn. Ta có thể coi sự làm việc của động cơ và bộ biến đổi theo sơ đồ thay thế hình 13.17 a. Khi tiristo mở nguồn được nối với phản ứng, dòng điện  $i_u$  biến thiên từ giá trị 0 và biến thiên không liên tục. Khi điện áp bằng không diốt chuyển mạch dẫn do đó  $S_2$  đóng và  $S_1$  mở,



a)

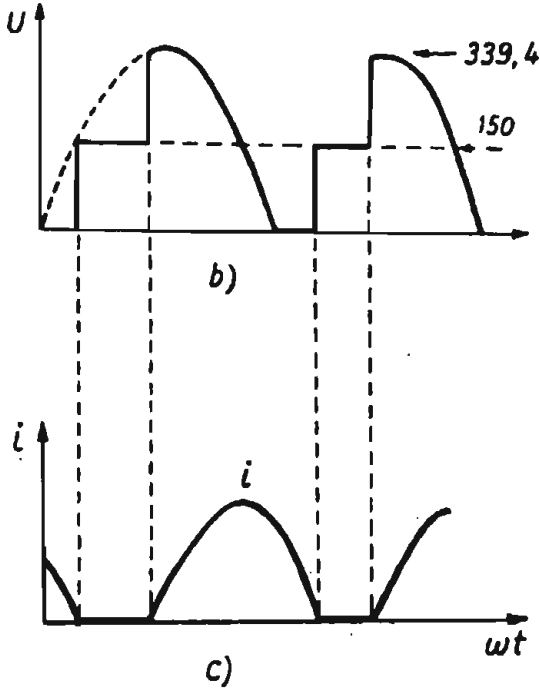
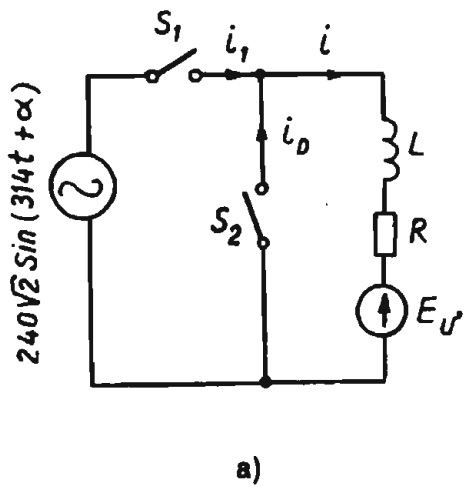


b)

Hình 13.15.

dòng điện  $i$  giảm tới lúc triệt tiêu hoàn toàn, sau đó dòng điện bằng không (hình 13.17 b). Dòng điện  $i_1$  gồm 3 thành phần :

- thành phần xác lập xoay chiều
- thành phần xác lập một chiều
- thành phần tự do  $e^{-\frac{t}{T}}$



Hình 13.17.

Để tìm thành phần xác lập xoay chiều ta tính tổng trở của động cơ

$$\bar{Z} = R + j\omega L = 6 + j314.0,06 = 19,78 \angle 1,263\Omega, \text{ suy ra}$$

$$I = \frac{U}{z} = \frac{240}{19,78} = 12,13 \text{ A, vì mỗi chậm } 80^\circ \text{ ứng với góc } \frac{80}{180}\pi = 1,396 \text{ rad}$$

Dòng điện xác lập tức thời

$$i_{XL} = 12,13\sqrt{2}\sin(314t + 1,396 - 1,263) = 17,16\sin(314t + 0,133)\text{A}$$

Dòng điện một chiều xác lập : Vì  $E_U$  ngược chiều  $I_{XL}$  suy ra

$$I_{XL} = -\frac{E_U}{R} = \frac{150}{6} = -25 \text{ A.}$$

$$\text{Dòng điện tự do } i_{td} = Ae^{-t/T}, T = \frac{L}{R} = \frac{0,06}{6} = 0,01 \text{ S.}$$

Vậy ta được

$$i_1 = i_{XL} + I_{XL} + i_{td} = 17,16\sin(314t + 0,133) - 25 + Ae^{-100t}$$

$$\text{khi } t = 0, i = 0 \text{ suy ra } A = 25 - 17,16\sin 0,133 = 22,7 \text{ A.}$$

Cuối cùng ta được

$$i_1 = 17,16\sin(314t + 0,133) - 25 + 22,7e^{-100t} \text{ A}$$

Vì góc mỗi  $\alpha = 80^\circ$  thời điểm điện áp bằng không ứng với

$$t = \frac{180 - 80.1}{360.50} = 0,0055 \text{ s, khi đó } i = 4,39 \text{ A.}$$

Dòng điện qua diốt chuyển mạch gồm thành phần một chiều xác lập  $-150/6 \text{ A}$  và thành phần giảm theo hàm mũ và phải thoả mãn điều kiện  $i_D = 4,39$  khi  $t = 0$

do đó  $i_D = -25 + 29,39 e^{-100t}$  dòng điện này bằng không khi  $t = 0,001618$  s tức là ứng với góc  $29^\circ$  sau khi điện áp triệt tiêu. Đường cong dòng điện trên hình 13.17c

Biết  $E_u = 150$  V suy ra  $I_{tb} R = U_{tb} - E_u$

$$I_{tb} = \frac{U_{tb} - E_u}{R} = \frac{169,3 - 150}{6} = 3,22 \text{ A}$$

Mômen trung bình  $M_{tb} = I_{tb} 0,9 = 2,89 \text{ Nm}$

$$\text{Tốc độ } n = \frac{E_u}{0,9} = \frac{150}{0,9} = 166,7 \text{ rad/s} = 1592 \text{ v/ph.}$$

**Bài số 13.3.**

Phân ứng của động cơ một chiều kích từ độc lập được cung cấp từ ác quy 72 V qua bộ biến đổi điện áp một chiều (bộ băm) làm việc ở tần số 1kHz Xác định dạng sóng điện áp và dòng điện phản ứng ở tốc độ 90 rad/s và mômen cần 5 Nm Phân ứng có điện cảm  $L = 0,06$  H và hằng số  $\frac{E}{n} = \frac{M}{I} = 0,5$ . Bỏ qua tổn hao của bộ băm và của động cơ.

*Bài giải*

Sơ đồ truyền động cho trên hình 13.18 a, còn đồ thị điện áp và dòng điện cho trên hình 13.18 b

Ở tốc độ  $n = 90$  rad/s có sức điện động  $E_u = 90 \times 0,5 = 45$  V, bằng điện áp ra trung bình của bộ băm khi bỏ qua các tổn hao

Thời gian đóng

$$t_d = \frac{E_u}{U} = \frac{45}{72} = 0,625 \text{ ms.}$$

Chu kỳ của bộ băm

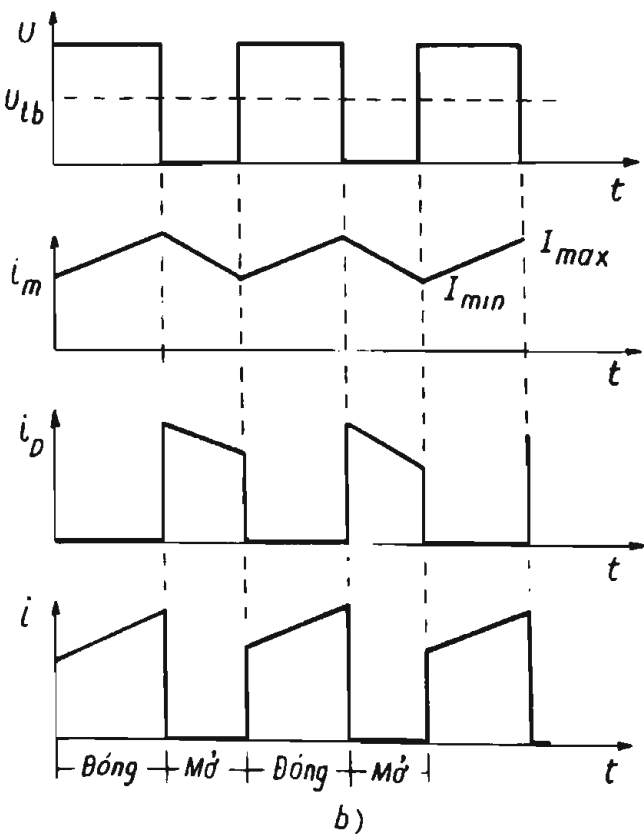
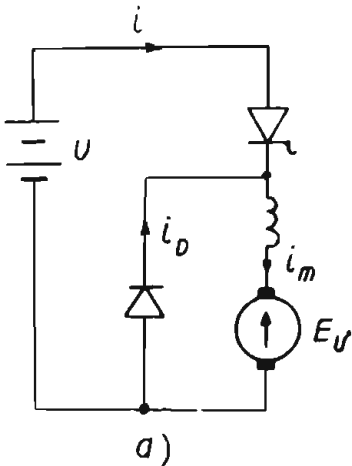
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^3} = 1 \text{ ms}$$

Thời gian mở bằng

$$1 - 0,625 = 0,375 \text{ ms}$$

Khi  $M = 5$ Nm dòng điện trung bình của động cơ bằng  $5/0,5 = 10$  A Khi bộ băm dẫn điện có phương trình

$$L \frac{di}{dt} = U - E_u \text{ suy ra}$$



Hình 13.18.



$$\frac{di}{dt} = \frac{U - E_u}{L} = \frac{72 - 45}{0,6} = 450 \text{ A/s}$$

Khi bộ băm mở dòng điện giảm với vận tốc  $45/0,06 = 750 \text{ A/s}$

Bỏ qua điện trở phản ứng dòng điện biến thiên tuyến tính giữa  $I_{\min}$  và  $I_{\max}$

$$I_{\max} = I_{\min} + 450 \times 0,625 \times 10^{-3}$$

$$I_{\text{tb}} = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2} = 10 \text{ A}$$

Giải hai phương trình này tìm được  $I_{\min} = 9,86 \text{ A}$  và  $I_{\max} = 10,14 \text{ A}$

Khi mở ta được dòng điện phản ứng  $i = 9,86 + 450t \text{ A}$

Khi khóa ta được  $i = 10,14 - 750t \text{ A}$ .

#### Bài số 13.4.

Giải bài tập 3 khi biết điện trở phản ứng của động cơ là  $0,3\Omega$

#### Bài giải

Điện áp ra trung bình của bộ băm sẽ lớn hơn để bù vào điện áp rơi

$$10 \times 0,3 = 3 \text{ V}$$

Do đó điện áp trung bình  $U_{ll} = E_u + IR_u = 45 + 3 = 48 \text{ V}$

Ta có thời gian mở  $t_1$  và thời gian đóng  $t_2$ ,  $t_1 + t_2 = 1 \text{ ms}$ .

suy ra 
$$t_1 = \frac{E_u}{U} = \frac{48}{72} = 0,667 \text{ ms và } t_2 = 0,333 \text{ ms}$$

trong khoảng mở ta có 
$$i = \frac{U - E_u}{R_u} - \left( \frac{U - E_u}{R_u} - i_{\min} \right) e^{-\frac{t}{T}}$$

$$= \frac{72 - 45}{0,3} - \left( \frac{72 - 45}{0,3} - i_{\min} \right) e^{-\frac{0,3}{0,6}t}$$

bằng  $I_{\max}$  ở  $t = 0,667 \text{ ms}$

Trong khoảng đóng ta có 
$$i = -\frac{45}{0,3} + \left( \frac{45}{0,3} + I_{\max} \right) e^{-\frac{0,3}{0,6}t}$$
, bằng  $I_{\min}$  ở  $t = 0,333 \text{ ms}$

Giải hai phương trình này tìm được  $I_{\min} = 9,91 \text{ A}$  và  $I_{\max} = 10,17 \text{ A}$ .

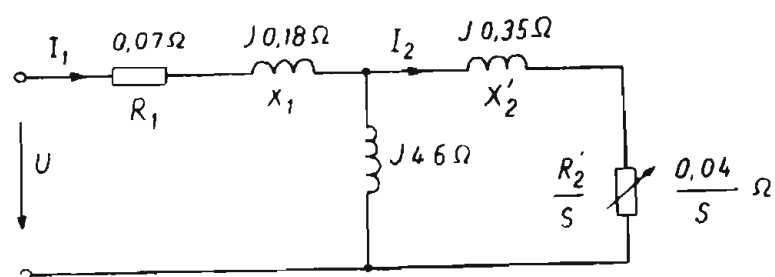
Vậy trong khoảng mở

$$i = 90 - 80,09e^{-5t} \text{ A, trong khoảng}$$

$$\text{đóng } i = -150 + 160,17e^{-5t} \text{ A}$$

#### Bài số 13.5.

Cho sơ đồ thay thế động cơ không đồng bộ (hình 13.19). Cho biết số đôi cực  $p = 2$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ , bỏ qua tổn hao sắt. Tính  $I_2$  và vẽ đặc tính cơ của động cơ trong các trường



Hình 13.19.

hợp sau :

a)  $U = 200 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$

b)  $U = 100 \text{ V}, f = 25 \text{ Hz}$

c)  $U = 20 \text{ V}, f = 5 \text{ Hz}$

*Bài giải*

a) Bỏ qua nhánh từ hóa có :

$$I_1 = I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + R_2' \right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{200}{\sqrt{\left(0,07 + \frac{0,04}{s}\right)^2 + 0,53^2}},$$

tốc độ đồng bộ  $\omega_1 = \frac{2\pi f}{p}$ .

Mômen quay  $M = 3I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s\omega_1} = 3I_1^2 \cdot \frac{0,04}{50\pi s}$ .

b) Khi điện áp  $U = 100 \text{ V}$  và  $f = 25\text{Hz}$  ta có :

$$I_1 = I_2' = \frac{100}{\sqrt{\left(0,07 + \frac{0,04}{s}\right)^2 + 0,53^2}}$$

mômen quay  $M = 3I_2'^2 \frac{R_2'}{s\omega_1} = 3I_2'^2 \cdot \frac{0,04}{25\pi s}$ .

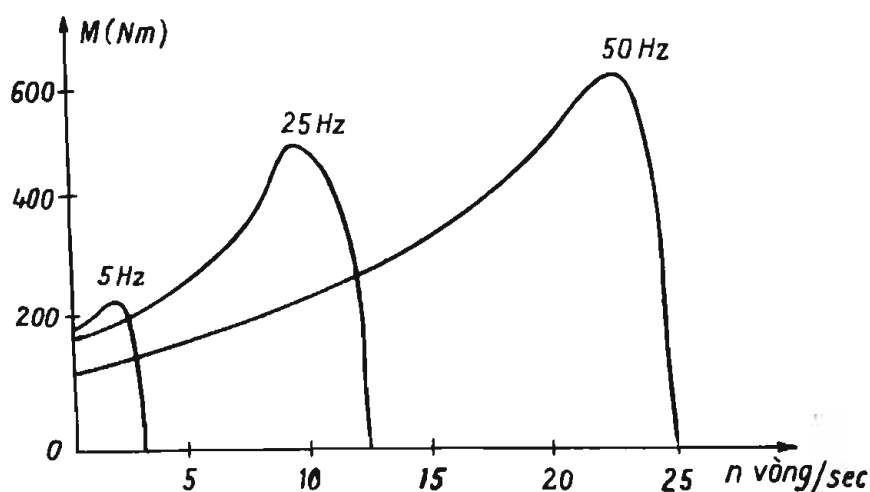
c) Khi  $U = 20 \text{ V}$  và  $f = 5\text{Hz}$  có

$$I_1 = I_2' = \frac{20}{\sqrt{\left(0,07 + \frac{0,04}{s}\right)^2 + 0,53^2}}, \text{ mômen quay } M = 3I_2'^2 \cdot \frac{0,04}{5\pi s}.$$

Đặc tính của động cơ trong ba trường hợp trên vẽ trên hình 13.20. Ta nhận thấy ở các tần số thấp, mômen cực đại giảm đi khi giữ cho tỷ số  $\frac{U}{f}$  không đổi.

### Bài số 13.6.

Một bộ nghịch lưu cung cấp cho động cơ lồng sóc bốn cực điện áp 220 V,  $f = 50\text{Hz}$ . Xác định các lượng điện áp và tần số đầu ra của bộ nghịch lưu ở các tốc độ



Hình 13.20.

a) 900 v/ph ; b) 1200 v/ph ; c) 1500 v/ph ; d) 1800 v/ph.

### Bài giải

Tần số  $f = \frac{pn}{60}$ . Trong mỗi trường hợp tỷ số  $U/f$  là không đổi suy ra đại lượng điện áp và tần số đầu ra của bộ nghịch lưu là :

$$a) \quad f = \frac{900.2}{60} = 30 \text{ Hz}, \quad U = \frac{220}{50}.30 = 132 \text{ V}.$$

$$b) \quad f = \frac{1200.2}{60} = 40 \text{ Hz}, \quad U = \frac{220}{40}.30 = 176 \text{ V}.$$

$$c) \quad f = \frac{1500.2}{60} = 50 \text{ Hz}, \quad U = \frac{220.50}{50} = 220 \text{ V}.$$

$$d) \quad f = \frac{1800.2}{60} = 60 \text{ Hz}, \quad U = \frac{220.60}{50} = 264 \text{ V}.$$

### Bài số 13.7.

Động cơ không đồng bộ rôto dây quấn có  $p = 3$  được nối qua bộ nghịch lưu, biết điện áp giữa các vành trượt  $E_2 = 600 \text{ V}$ . Xác định góc mỗi của bộ nghịch lưu ở tốc độ 600 v/ph. Bộ nghịch lưu được nối vào lưới ba pha 415 V, 50Hz. Bỏ qua hiện tượng chuyển mạch và các tổn hao.

#### Bài giải

Dùng sơ đồ truyền động hình 13 - 11.

$$\text{Tốc độ đồng bộ của động cơ } n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60.50}{3} = 1000 \text{ v/ph}$$

$$\text{hệ số trượt } s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1000 - 600}{1000} = 0,4.$$

Điện áp trên roto ở tốc độ 600 v/f là :

$$U_2 = sE_2 = 0,4.600 = 240 \text{ V}.$$

Giả thiết dùng sơ đồ cầu ba pha. Điện áp một chiều :

$$U_o = \frac{6 \times 240\sqrt{2}}{\pi} \sin \frac{\pi}{6} = 324 \text{ V}.$$

gọi  $\beta$  là góc mỗi có :

$$U_o = \frac{6 \times 415\sqrt{2}}{\pi} \sin \frac{\pi}{6} \cos \beta = 324 \text{ V suy ra } \beta = 54^\circ 7'.$$

### Bài số 13.8.

Tính lại góc mở của bài số 13.7 có kể đến hiện tượng chuyển mạch với góc  $20^\circ$  ở bộ chỉnh lưu và  $5^\circ$  ở bộ nghịch lưu. Điện áp rơi trên một điốt là 1,5 V và điện áp rơi trên một tiristo là 0,7 V.

#### Bài giải

Điện áp trung bình

$$U_{th} = \frac{6 \times 240\sqrt{2}}{2\pi} \sin \frac{\pi}{6} \left[ 1 + \cos 20'' \right] - (2 \times 0.7) = 312,9 \text{ V}$$

Kể tới các điện áp rơi trên diốt ta được phương trình xác định góc mở

$$312,9 - (2 \times 1,5) = \frac{6 \times 415\sqrt{2}}{2\pi} \sin \frac{\pi}{6} \left[ \cos \beta + \cos(\beta - 5'') \right]$$

từ đó suy ra  $\beta = 58''9$ .

## BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ CHƯƠNG 13

### Bài số 13.9

Một bộ biến đổi điện áp một chiều (bộ băm) có điện áp nguồn 100V, tần số đóng ở 1kHz cung cấp cho động cơ kích từ nối tiếp. Bộ biến đổi tự động khóa khi dòng điện của động cơ là 14A. Giả thiết ngưỡng điều chỉnh tốc độ là 120rad/s, xác định gần đúng thời gian động cơ đạt tới trạng thái xác lập từ trạng thái dừng. Các tham số: điện cảm phản ứng 0,2H, hằng số từ thông 0,5V/rad/s, quán tính 0,04 kgm<sup>2</sup>. Mômen cản là hằng số và bằng 2,5Nm. Bỏ qua các tổn hao của bộ biến đổi và của động cơ. Vẽ dạng sóng dòng điện phản ứng ở tốc độ 60rad/s và ở chế độ xác lập.

Đáp số: 1,093s

### Bài số 13.10

Động cơ đồng bộ 4 cực, 415V, 50Hz nối Y có điện kháng đồng bộ  $X_{db} = 0,5\Omega$ , dòng điện stato định mức  $I = 100A$ .

Xác định dòng điện kích từ để hệ số công suất 0,85 (vượt trước) với hai trường hợp:

a) 50Hz, 100A

b) 30Hz, 60A

Đáp số: a)  $I_{kt} = 1,124$  dòng kích từ không tải điện áp định mức

b)  $I_{kt} = 1,071$  dòng kích từ không tải điện áp định mức.

### Bài số 13.11

Có lại Bài số 13.3 nếu xét đến điện trở phần ứng  $R_u = 0,3\Omega$ .

Đáp số:

Trong khoảng mở  $i = 90 - 80,09e^{-5t} A$

Trong khoảng đóng  $i = -150 + 160,177e^{-5t} A$ .

**KỸ THUẬT ĐIỆN**  
**LÝ THUYẾT 100 BÀI TẬP GIẢI SẴN**  
**VÀ 70 BÀI TẬP CHO ĐÁP SỐ**

**Tác giả : ĐẶNG VĂN ĐÀO**  
**LÊ VĂN DOANH**

*Chịu trách nhiệm xuất bản : Pgs Pts TÔ ĐĂNG HẢI*  
*Biên tập: Ngọc Đăng*  
*Vẽ bìa: Hương Lan*

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT**  
**HÀ NỘI**

---

In 1000 cuốn khổ 19 x 27 cm tại Công ty In Hàng không  
Giấy phép số: 1380-48-26/12/2001  
In xong và nộp lưu chiểu tháng 1/2002



**Giá: 32.000đ**